



TESIS- MN142532

**ANALISIS STATIS DAN DINAMIS SANDWICH PANEL
BERBAHAN CORE MATERIAL LIMBAH CANGKANG
TELUR PADA KONSTRUKSI PELAT DATAR KAPAL**

ID ADHA MULA
04111650030004

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
NIP. 19590505 198403 1 012

Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D
NIP. 19620328 198803 1 001

PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER
SURABAYA
2018



TESIS - MN142532

**ANALISIS STATIS DAN DINAMIS SANDWICH PANEL
BERBAHAN CORE MATERIAL LIMBAH CANGKANG
TELUR PADA KONSTRUKSI PELAT DATAR KAPAL**

**ID ADHA MULA
04111650030004**

**DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
NIP. 19590505 198403 1 012**

**Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D
NIP. 19620328 198803 1 001**

**PROGRAM MAGISTER
TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOVENBER
SURABAYA
2018**



THESIS - MN142532

STATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF CORE MATERIAL SANDWICH PANEL USING EGG SHELL POWDER APPLICATION FOR SHIP CONSTRUCTION

ID ADHA MULA
04111650030004

SUPERVISOR

Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D

MAGISTER PROGRAM
MARINE PRODUCTION AND MATERIAL ENGINEERING
DEPARTEMEN OF NAVAL ARCHITECTURE AND SHIPBUILDING ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

ID ADHA MULA

NRP 04111650030004

Tanggal Ujian : 20 Juli 2018

Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19590505 198403 1 012

2. Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19620328 198803 1 001

3. Prof. Ir. I Ketut Aria Prita Utama, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19670406 199203 1 001

4. Aries Sulisetyono, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 19710320 199512 1 002

5. Dr. Ir. I Ketut Susstika, M.Sc.
NIP. 19691231 200604 1 78

Pelaksana Tugas Dekan Fakultas Teknologi Kelautan,



Prof. Ir. Arif Himmahidv, M.Sc., Ph.D.

NIP. 19581005 198603 1 013

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“ANALISIS STATIS DAN DINAMIS SANDWICH PANEL BERBAHAN CORE MATERIAL LIMBAH CANGKANG TELUR PADA KONSTRUKSI PELAT DATAR KAPAL ”**. Adapun maksud penulisan tesis ini yaitu sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama pelaksanaan penelitian dan penulisan thesis ini banyak pihak yang telah membantu, karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D dan Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng.,Ph.D sebagai pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama proses penelitian.
2. Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc.,Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Perkapalan sebagai pimpinan instansi penulis menimba ilmu dan menempuh studi Magister.
3. Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama,Msc.,Ph.D. , Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.,, Aries Sulisetyono, S.T. , MAsc., Ph.D. selaku penguji sidang tesis yang telah memberikan penilaian dan masukan untuk kesempurnaan penelitian.
4. Dosen Program Pasca Sarjana Teknik Perkapalan yang telah membimbing penulis hingga mampu menempuh pendidikan Magister.
5. Orang tua, saudara, Istri beserta anak-anak yang selalu memberikan semangat, dukungan dan doa yang tak ternilai harganya, selama penulis menimba ilmu.
6. PT. Pelni (Persero) yang telah memberi saya dukungan dan kesempatan sehingga saya dapat melaksanakan kuliah S2 di Institiut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
7. Teman seperjuangan Anza Anshori, Kharis Abdullah, Yudiono, M sidik Purwoko, Tuswan yang telah banyak membantu dan bekerjasama dalam pengujian, pemberi masukan, penyemangat satu tujuan dengan penulis dalam menyelesaikan penelitian.
8. Rekan-rekan Pasca Sarjana Teknik Perkapalan 2016, yang telah bersama-sama dalam suka duka menuntut ilmu bersama-sama dengan penulis

Penulis menyadari bahwa penelitian tesis ini masih memiliki banyak kelemahan dan kekurangan, oleh karena itu sangat diharapkan saran yang membangun agar penelitian ini lebih dapat disempurnakan.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

ANALISIS STATIS DAN DINAMIS CORE SANDWICH PANEL BERBAHAN MATERIAL LIMBAH CANGKANG TELUR PADA KONSTRUKSI PELAT DATAR KAPAL

Nama Mahasiswa : Id Adha Mula
NRP : 04111650030004
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
Dosen Pembimbing II : Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D

ABSTRAK

Kemajuan bidang perkapalan sejalan dengan perkembangan material pembuat kapal itu sendiri. Salah satu material maju yang memiliki karakteristik yang sesuai untuk konstruksi kapal adalah material Sandwich. Pengembangan material sandwich di Indonesia belum maksimal terutama pada bagian intinya (core). Pada penelitian ini material sandwich dikembangkan dengan material inti berbahan unsaturated polyester resin dengan material limbah cangkang telur. Material Cangkang Telur sebagai campuran dijadikan serbuk dan disaring dengan ukuran mesh 50 kemudian dilakukan karbonisasi. Komposisi material inti yang diteliti menggunakan campuran serbuk cangkang telur dengan perbandingan 0%, 10%, 20%, 30%, 35% dan 40% dari berat total.

Identifikasi karakteristik material inti dilakukan dengan eksperimen yang meliputi pengujian komposisi kimia, densitas, kekuatan tarik, kekerasan, dan kekuatan tekan material. Komposisi campuran cangkang telur sebanyak 30% menghasilkan core material dengan sifat mekanik yang tertinggi dengan nilai kuat Tarik 28,132 Mpa, Modulus 300,3 Mpa dan elongation 22,6%.

Identifikasi material sandwich dilakukan dengan menggunakan 2 komposisi core dengan sifat mekanikal tertinggi yaitu 30% dan 20%. Karakteristik material dan sifat dinamis sandwich diperoleh dari pengujian densitas, lentur dan getaran. Dari pengujian lentur didapatkan tegangan tertinggi pada campuran 30% sebesar 95,063 N/mm² dan Semakin banyak campuran serbuk cangkang telur semakin tinggi nilai massa jenis. Untuk mendapatkan sifat dinamis material sandwich dilakukan uji getaran pada kondisi material utuh dan cacat. Hasil dari pengujian didapatkan bahwa kondisi dalam utuh diperoleh frekuensi natural sebesar 487,5 Hz pada 20% campuran dan frekuensi natural 443,71 Hz pada 30% campuran sedangkan pada kondisi cacat diperoleh frekuensi natural sebesar 439,9 Hz dan 429,2 Hz

Material konstruksi Sandwich panel akan diaplikasikan pada geladak utama kapal Kontainer dengan simulasi menggunakan software computer berbasis metode elemen hingga. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa pengurangan berat konstruksi sandwich pada satu panel dibandingkan dengan konstruksi konvensional adalah sebesar 6,6 % sandwich untuk campuran 20% dan 4,8% untuk campuran 30%.

Kata Kunci: Material Sandwich, Serbuk Cangkang Telur, material inti

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF CORE MATERIAL SANDWICH PANEL USING EGG SHELL POWDER APPLICATION FOR SHIP CONSTRUCTION

Student Name : Id Adha Mula
NRP : 041116500
Supervisor I : Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D
Supervisor II : Ir. Agung Budipriyanto, M.Eng., Ph.D

ABSTRACT

Advances in shipping technology are in line with the development of the shipbuilding material itself. One of the advanced materials that have the appropriate technology for ship construction is Sandwich material. Sandwich material for ship industry in Indonesia need to be studied, especially in its core. In this research, sandwich material is developed by using core material made from unsaturated polyester resin with waste eggshell material as the filler. The eggshell material is processed into powder and filtered using mesh size of 50, and then the powder is carbonized. The core materials are composed of resin and the eggshell powder with the ratio of 0%, 10%, 20%, 30%, 35% and 40% of total weight.

The identification of core material characteristics is performed by experiments that include tests of chemical composition, density, tensile strength, hardness, and compressive strength of the material. The result of this study on the core shows that the more eggshell powder in the composition the higher the mass density. The composition of 30% eggshell mixture produced core material with the highest mechanical properties with tensile strength of 28.132 MPa, Modulus of Elasticity of 300.3 MPa and elongation of 22.6%.

Tests on sandwich plate with steel face sheets are conducted on the structure with 2 core compositions having the first and second highest mechanical properties, these are 30% and 20% eggshell compositions. The sandwich materials are characterized using density and bending tests. To obtain their dynamic properties, vibration tests on sandwich plate in non-defect and defect conditions are performed. The results of the bending test show that the highest stress of 95.063 N/mm² is obtained in the structure with 30% eggshell composition. The vibration tests show that in the non-defect condition, the natural frequency of the sandwich structure with 20% eggshell powder composition is 487.5 Hz and that of 30% eggshell powder composition is 443.71 Hz. In the defect condition their natural frequency for 20% and 30% eggshell compositions are 439.9 Hz and 429.2 Hz respectively.

Simulation on the application of sandwich panels on the main deck of container ship is performed using computer software based on finite element method. It is found that the weight reduction of sandwich construction on one panel compared with conventional construction is 6,6% for 20% eggshell composition and 4.8% for 30% eggshell composition.

Keywords: Sandwich material, eggshell powder, core material, static test, vibration test.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan.....	4
1.4. Manfaat	5
1.5. Hipotesis	5
1.6. Batasan masalah	5
BAB II	7
KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Pengertian <i>Sandwich Panel System</i>	7
2.2 Keuntungan Penggunaan Struktur <i>Sandwich</i>	8
2.3 Aplikasi <i>Sandwich Panel</i> pada Konstruksi Kapal	9
2.4 Komposisi Material Inti (<i>Core</i>) <i>Sandwich Panel</i>	10
2.4.1 Cangkang Telur.....	10
2.4.2 <i>Unsaturated Polyester Resin (UPR)</i>	11
2.4.3 Katalis	13
2.4.2 Pigmen/ Pewarna	13
2.5 Standardisasi Pengujian Material	14
2.5.1 Pengujian Densitas.....	15
2.5.2 Pengujian Tarik.....	15

2.5.3	Pengujian Kekerasan	17
2.5.4	Pengujian Tekan (<i>Compression Test</i>)	18
2.5.5	Pengujian lentur (<i>Flexural Test</i>)	19
2.6	Penentuan Ketebalan <i>Sandwich Panel</i>	21
2.7	<i>Finite Element Method</i>	24
2.8	Karakteristik Dinamik.....	29
2.8.1	Getaran	29
2.8.2	<i>Modal Analysis</i>	32
2.8.3	<i>Modal Analysis Experiment</i>	33
2.8.4	<i>Fourier Transform</i>	34
BAB III	.....	35
METODOLOGI PENELITIAN	.....	35
3.1	Tahapan Penelitian.....	35
3.2	Studi Literatur	36
3.3	Pengumpulan Data Awal	36
3.4	Persiapan dan <i>Treatment Material</i>	36
3.4.1	Pengeringan.....	36
3.4.2	Penggilingan.....	37
3.4.3	Pengayakan.....	37
3.4.4	Karbonisasi.....	38
3.5	Identifikasi Material dengan Uji XRF	38
3.6	Variasi campuran <i>core material</i> & pembuatan Spesimen Uji.....	39
3.7	Pengujian Karakteristik <i>Core Sandwich</i>	40
3.7.1	Pengujian Massa Jenis <i>Core</i>	41
3.7.2	Pengujian Kekuatan Tarik <i>Core</i>	41
3.7.3	Pengujian Kekerasan (<i>Hardness Test</i>)	41
A3.7.4	Pengujian Tekan (<i>Compressive Test</i>)	42
3.8	Pemilihan Komposisi Campuran & Perhitungan Tebal <i>Sandwich</i>	43
3.8.1	Pemilihan Komposisi Campuran.....	43
3.8.2	Perhitungan Tebal <i>Sandwich</i>	43
3.9	Pembuatan Material <i>Sandwich</i>	44

3.9.1	Persiapan material <i>Face Plate</i>	44
3.9.2	Cetakan <i>Sandwich panel</i>	45
3.9.3	Perekatan dan Pengecoran	45
3.9.4	<i>Finishing Material Sandwich</i>	46
3.10	Identifikasi <i>Sandwich Panel</i>	47
3.10.1	Pengujian Massa Jenis <i>Sandwich Panel</i>	47
3.10.2	Pengujian Lentur <i>Sandwich Panel</i>	47
3.11	Pemodelan <i>Sandwich Panel</i>	48
3.12	Pengujian Getaran	49
3.12.1	Persiapan Pengujian	49
3.12.2	Pengujian Getaran <i>Sandwich Panel</i>	49
3.12.3	Pembuatan Cacat pada <i>Sandwich Panel</i>	50
3.12.4	Proses Pengolahan Data Uji Getaran	51
BAB IV	.....	53
ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	53
4.1	Gambaran Umum Penelitian	53
4.2	Persiapan Bahan	53
4.2.1	Pemilihan Ukuran Serbuk cangkang Telur	53
4.2.2	<i>Treatment Material</i>	55
4.3	Identifikasi Massa Jenis <i>Core Material</i>	56
4.3.1	Pengujian Tarik <i>Core Material</i>	57
4.3.1.1	<i>Tensile Strength</i> (Mpa)	59
4.3.1.2	Modulus Elastisitas (Mpa)	61
4.3.1.3	<i>Elongation</i> (%).....	62
4.3.1.4	Pengujian Kekerasan Material	62
4.3.2	Pengujian Tekan (<i>Compressive Test</i>)	63
4.4	Pemilihan Komposisi campuran <i>Core Sandwich</i>	64
4.5	Perhitungan Tebal Pelat (<i>face plate</i>) pada Material <i>Sandwich</i>	64
4.6	Analisa Hasil Identifikasi Material <i>Sandwich Panel</i>	65
4.6.1	Identifikasi Massa Jenis <i>Sandwich Panel</i>	65
4.6.2	Pengujian Lentur (<i>Flexural Test</i>) <i>Sandwich Panel</i>	66

4.6.3	Identifikasi Respon Getaran <i>Sandwich Panel</i>	67
4.6.4	Pemodelan <i>Sandwich Panel</i>	68
4.6.5	Nilai Koherensi <i>Sandwich Panel</i> Utuh.....	70
4.6.6	Perbandingan Hasil Analisis dan Eksperimen <i>Sandwich Panel</i> Kondisi Utuh	71
4.6.7	Perbandingan Hasil Analisis dan Eksperimen <i>Sandwich Panel</i> Kondisi Cacat	72
4.6.8	Hasil dan Analisa <i>Damping Ratio Sandwich Panel</i>	74
4.7	Simulasi penggunaan material sandwich pada konstruksi konvensional	74
4.7.1	Pemodelan pada struktur konstruksi Konvensional	75
4.7.2	Perubahan Konstruksi Menggunakan Material <i>Sandwich</i>	75
4.7.3	Pembebanan Variasi Konstruksi Material <i>Sandwich</i>	76
4.8	Perubahan Berat Konstruksi	80
BAB V	.....	81
KESIMPULAN DAN SARAN	.....	81
5.1	Kesimpulan.....	81
5.2	Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA	.....	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Material Sandwich.....	1
Gambar 1. 2	Konstruksi konvensional dan sandwich pada Kapal	3
Gambar 1. 3	Konstruksi konvensional dan Sandwich Panel System (SANDWICH) mimcilovic dan motok (2009).....	2
Gambar 2. 1	Konfigurasi <i>Sandwich</i> (dari Zenkert 1995).....	7
Gambar 2. 2	Ilustrasi <i>Sandwich Effect</i> (Hexcel Composites,2000)	8
Gambar 2. 3	Cangkang telur ayam.....	10
Gambar 2. 4	Grafik Produksi Telur Indonesia (Sumber Badan Pusat Statistik)....	11
Gambar 2. 5	Unsaturated Polyester Resin.....	12
Gambar 2. 6	Gambar Kegagalan material Unsaturated Polyester Resin	13
Gambar 2. 7	Katalis.....	13
Gambar 2. 8	Pigmen Pewarna Pasta	14
Gambar 2. 9	Spesimen Uji Tarik.....	15
Gambar 2. 10	Bentuk identer pada <i>Shore D</i>	17
Gambar 2. 11	<i>Compression Tool</i>	18
Gambar 2. 12	Bentuk Pengujian Lentur.....	19
Gambar 2. 13	(<i>ASTM C 393, Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions</i>)	20
Gambar 2. 14	Ketebalan <i>Sandwich Plate</i>	22
Gambar 2. 15	Perhitungan Tebal <i>Sandwich Panel Menurut Lloyd's Register (LR)</i>	22
Gambar 2. 16	Beberapa jenis elemen (Logan, 2007).....	26
Gambar 2. 17	Penentuan Estimasi Redaman, <i>Half power bandwidth</i>	31
Gambar 3. 1	Bagan Metodologi Penelitian	35
Gambar 3. 2	Metode Pengeringan (a) Pengering putar,(b) Oven,(c) Terik Matahari	36
Gambar 3. 3	(a) Mesin Penggilingan Tepung dan (b) Blender	37
Gambar 3. 4	Serbuk Cangkang Telur.....	38

Gambar 3. 5 Hasil pengujian (XRF) Serbuk cangkang telur yg dikarbonisasi	38
Gambar 3. 6 Cetakan Spesimen Uji Core SANDWICH sesuai ASTM D638	39
Gambar 3. 7 Gambar (a) Proses Pencampuran Adonan, (b) Proses Penuangan, (c) Proses Pengeringan, (d) Spesimen Uji Core Sandwich.....	40
Gambar 3. 8 Pengujian tarik <i>core material</i>	41
Gambar 3. 9 Durometer shore D	42
Gambar 3. 10 Spesimen Uji dan <i>compressive test machine</i>	42
Gambar 3. 11 Gambar GA Kapal Kontainer 100 teus (Tol Laut)	43
Gambar 3. 12 Gambar Midship Section	44
Gambar 3. 13 Treatmen Penghilangan Karat pada face Plate	44
Gambar 3. 14 Cetakan Sanwich Panel.....	45
Gambar 3. 15 Material Sandwich tidak Melekat	45
Gambar 3. 16 (a) Lem Epoxy dan (b) Pengecoran Sandwich	46
Gambar 3. 17 Spesimen Uji Sandwich Panel	46
Gambar 3. 18 Pengujian densitas material <i>sandwich panel</i>	47
Gambar 3. 19 Pengujian lentur pada material <i>sandwich panel</i>	47
Gambar 3. 20 Pemodelan <i>sandwich panel</i> pada <i>software</i>	48
Gambar 3. 21 Model elemen pada <i>software</i>	48
Gambar 3. 22 Dudukan dan Spesimen sandwich	49
Gambar 3. 23 Proses Pengambilan data getaran pada spesimen sandwich	50
Gambar 3. 24 Ilustrasi posisi Accelerometer dan Sumber getaran (hammer)	50
Gambar 3. 25 Proses pembuatan cacat pada <i>sandwich panel</i>	51
Gambar 4. 1 Proses Identifikasi Size Partikel Serbuk Cangkang Telur	54
Gambar 4. 2 Diagram <i>Grain Size Distribution</i> Serbuk Cangkang Telur.....	55
Gambar 4. 3 (a) Serbuk Cangkang Telur (b) Serbuk Cangkang Telur Karbonisasi	56
Gambar 4. 4 Pengujian Massa Jenis <i>Core Material</i>	56
Gambar 4. 5 Grafik Nilai Densitas <i>Core</i> Cangkang Telur	57
Gambar 4. 6 Spesimen Sebelum Dilakukan Uji tarik.....	58
Gambar 4. 7 Patahan Terjadi Pada Ujung Spesimen.....	58
Gambar 4. 8 Penambahan Kertas Gosok pada Ujung Spesimen Uji Tarik	58
Gambar 4. 9 Spesimen <i>Core Sandwich</i> setelah Uji Tarik	59

Gambar 4. 10 <i>Tensile Strenght Of Core Sandwich Panel</i>	59
Gambar 4. 11 Diagram <i>Stress Strain</i>	60
Gambar 4. 12 Grafik Modulus Elastisitas <i>Core Material</i>	61
Gambar 4. 13 Grafik <i>Elongation at Break</i>	62
Gambar 4. 14 Grafik Uji Kekerasan <i>Core Material</i>	63
Gambar 4. 15 Ukuran Spesimen <i>Sandwich panel</i>	65
Gambar 4. 16 Hasil Uji Lentur Pada Spesimen <i>Sandwich</i>	67
Gambar 4. 17 Pemodelan Spesimen Uji 4 Getaran Pada <i>Software</i>	68
Gambar 4. 18 Kondisi Batas Pada Model	68
Gambar 4. 19 Spesimen Kondisi Utuh.....	69
Gambar 4. 20 Spesimen Kondisi Rusak.....	69
Gambar 4. 21 Frekuensi Natural pada Spesimen	69
Gambar 4. 22 Gambar Kurva Koherensi pada Matcath.....	70
Gambar 4. 23 (a) Frekuensi Domain 20% dan (b) Frekuensi Domain 30%	71
Gambar 4. 24 Hasil Pengujian Getaran Kondisi Cacat (a) 20%, (b) 30%	73
Gambar 4. 25 Konstruksi Geladak Konvensional.....	75
Gambar 4. 26 Pemodelan variasi Simulasi Konstruksi <i>Sandwich</i>	76
Gambar 4. 27 Pembebanan dan Deformasi pada variasi pemodelan konstruksi ..	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Cangkang Telur (Rivera, 1999)	11
Tabel 2. 2 Standarisasi pengujian dan kriteria <i>sandwich panel</i>	14
Tabel 2. 3 Dimensi identer Shore D.....	18
Tabel 2. 4 Ketebalan minimum pelat	23
Tabel 2. 5 <i>Thickness allowance</i>	23
Tabel 2. 6 Nilai numerik β_{nl2} untuk keadaan ujung tertentu (Thomson, 1980)..	30
Tabel 3. 1 Tabel Kandungan Serbuk cangkang Telur yang dikarbonisasi.....	38
Tabel 3. 2 Tabel Variasi Campuran pada Core	39
Tabel 3. 3 Tabel Ukuran Utama Kapal Kontainer 100 Teus (Tol Laut)	43
Tabel 4 1 Tabel <i>Grain Size Distribution</i> Cangkang Telur	54
Tabel 4. 2 Tabel Rekapitulasi Nilai Densitas	57
Tabel 4.3 Nilai Rata-Rata <i>Compressive</i>	63
Tabel 4. 4 Rekapitulasi Identifikasi <i>Core Sandwich</i>	64
Tabel 4. 5 Hasil Massa Jenis <i>Sandwich Panel</i>	66
Tabel 4. 6 Perbandingan Berat Besi dan Material <i>Sandwich</i>	66
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Lentur <i>Sandwich</i>	67
Tabel 4.8 Hasil Uji Numerik <i>Sandwich</i>	70
Tabel 4.9 Perbandingan Numerik dan Experimen pada <i>Sandwich</i> Kondisi Utuh	72
Tabel 4 10 Perbandingan Numerik dan Experimen pada <i>Sandwich</i> Kondisi Cacat	73
Tabel 4.11 Hasil <i>Damping Ratio</i>	74
Tabel 4 12 Nilai Tegangan Maksimum pada Konstruksi.....	79
Tabel 4.13 Perbandingan Berat Plat 10 mm dengan Sandwich 20% & 30%	80
Tabel 4 14 Perubahan Berat Konstruksi.....	80

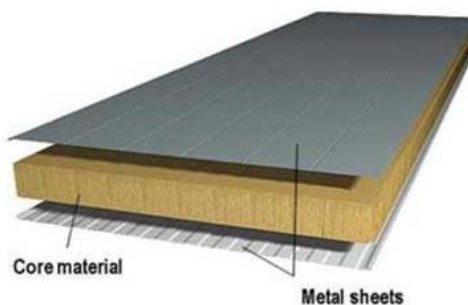
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang.

Kemajuan bidang perkapalan sejalan dengan perkembangan material pembuat kapal itu sendiri. Mulai dari material pembuat kapal primitif, yaitu kayu, sampai dengan material yang saat ini mayoritas digunakan dalam industri pembuatan kapal, yaitu besi/baja. Sampai sekarang penggunaan material besi dan baja pada konstruksi kapal dianggap yang paling efektif dan efisien. Salah satu kekurangan dari material besi/baja yaitu memiliki massa jenis yang tinggi sehingga kapal yang terbuat dari material besi/baja komponen bobot terbesarnya adalah berat konstruksi kapal. Hal ini menjadi dasar yang mendorong para pelaku industri, *designer* hingga akademisi untuk mengembangkan material inovatif yang digunakan pada konstruksi kapal. Inovasi teknologi material pada material konstruksi kapal diharapkan memiliki bobot lebih ringan, memenuhi spesifikasi standard yang disyaratkan *class*, lebih murah serta lebih cepat dan mudah dalam pemasangan/perakitan.

Beragam-macam material inovatif maju telah dikembangkan dan digunakan pada berbagai macam konstruksi, baik pada konstruksi bangunan darat maupun pada konstruksi bangunan laut seperti kapal. Salah satu material maju yang memiliki karakteristik yang baik dan cocok untuk konstruksi adalah material *sandwich*. Material *sandwich* pada konstruksi kapal adalah kombinasi antara dua pelat baja yang dipisahkan oleh bagian inti (*core*). Contoh material *sandwich* dapat dilihat pada Gambar 1. 1.

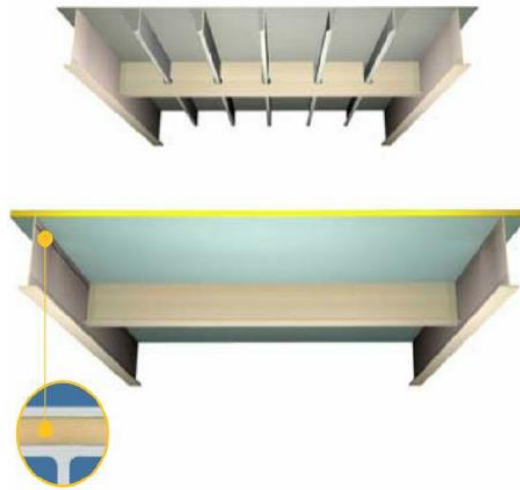


Gambar 1. 1 Material *Sandwich*

Pemakaian material *sandwich* adalah salah satu alternatif sebagai pengganti konstruksi konvensional pada kapal, sehingga dapat mengurangi berat konstruksi kapal.

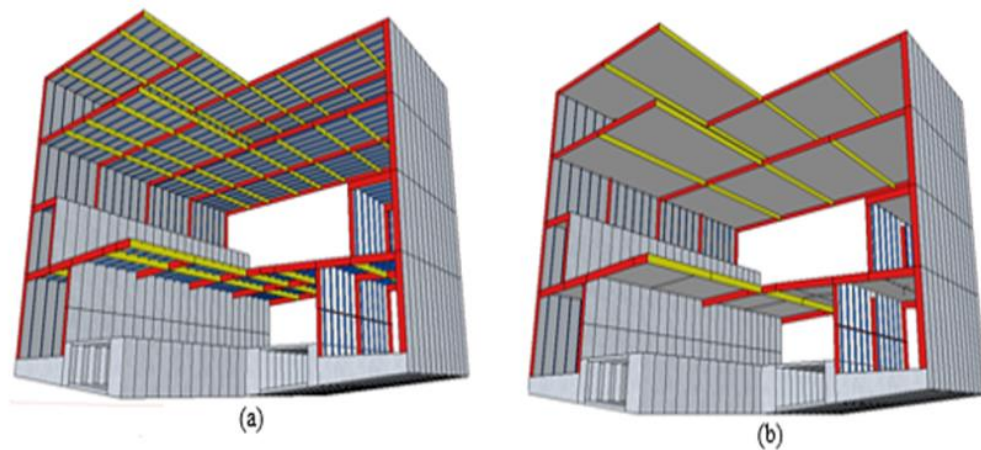
Berikut ini adalah beberapa penelitian sebelumnya tentang material *Sandwich* yang menyatakan dapat mengurangi berat konstruksi dengan kisaran 10%-15 %:

1. Momcilovic & Motok (2009) telah melakukan penelitian dimana pengurangan berat dengan menggunakan konstruksi *sandwich panel* dibandingkan konstruksi konvensional seperti pada Gambar 1. 2 adalah sebesar 15 %.



Gambar 1. 2 Konstruksi Konvensional dan *Sandwich Material Sandwich* Mimcilovic dan Motok (2009)

2. Penelitian penggunaan *Material Sandwich Pada Konstruksi Inner Bottom*. Baidowi dan Utomo (2015), “Pemakaian material *sandwich* pada konstruksi kapal sebagai salah satu alternatif untuk mengurangi berat pada konstruksi kapal” dimana disebutkan bahwa penggunaan material *sandwich* untuk menggantikan baja pada pelat *inner bottom* dapat memberikan kontribusi pengurangan berat konstruksi sebesar 13,05%.



Gambar 1. 3 Konstruksi konvensional dan *sandwich* pada Kapal

Gambar 1. 2 memperlihatkan perbedaan konstruksi konvensional (a) dan aplikasi material *sandwich* pada konstruksi kapal (b).

Intelligent Engginering (2015) yang merupakan pemilik hak paten material *sandwich* telah melakukan pengujian karakteristik dari material *sandwich* sebagai bahan untuk kontruksi kapal dan juga bangunan sipil, seperti pada pelat jembatan. Material *sandwich* jauh lebih sederhana daripada pelat baja yang kaku dan jauh lebih ringan dan lebih cepat untuk dipasang daripada beton bertulang.

Aturan yang mengatur penerapan *sandwich* pada konstruksi kapal, perhitungan ketebalan penggunaan material hingga tata cara dalam produksi material tersebut, baik dari proses injeksi dari dalam kontruksi kapal maupun dari luar kontruksi kapal tertuang dalam *Llyod's Register* (2015), *Provisional Rules for The Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure*, dan juga oleh *Det Norske Veritas* (2016), *Class Programme Sandwich Core Materials*.

Innovasi *core material sandwich* untuk saat ini mengarah kepada campuran *green material* ramah lingkungan dan material yang terbarukan.

Telur adalah salah satu makanan sumber protein terbesar yang dikonsumsi. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) produksi telur di Indonesia selalu meningkat setiap tahunnya. Pada tahun 2017 produksi telur Indonesia sebesar 1.527.134,87 ton. Sebagian besar saat ini cangkang telur hanya dianggap sebagai limbah. Limbah cangkang telur memiliki berat 9-12% dari berat telur total hal ini membuat ketersediaan material cangkang telur sangat berlimpah di Indonesia.

Menurut penelitian S.B Hassan (2012) “*development of Polyester/Eggshell Particulate Composite*”, disebutkan bahwa penambahan serbuk cangkang telur pada *polyester* dapat meningkatkan kekuatan tarik sehingga diharapkan dapat digunakan dalam campuran material inti/*Core* dari *sandwich*.

Sesuai dengan latar belakang diatas, maka dilakukan penelitian yang bersifat experimental pada tesis ini untuk menganalisa secara statis dan dinamis material *sandwich* dengan *core* atau inti berbahan campuran cangkang telur yang mengacu pada standar Lloyd’s Register (LR) dan diaplikasikan pada konstruksi pelat datar kapal.

1.2. Rumusan Masalah

Bedasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang akan diulas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah material *sandwich* dengan *core* berbahan campuran material cangkang telur dapat memenuhi kriteria standard yang disyaratkan Lloyd’s Register?
2. Berapa komposisi campuran material cangkang telur pada *core material* *sandwich* yang memiliki nilai kriteria terbaik menurut standard yang dipakai?
3. Bagaimana frekuensi natural dan redaman pada material *sandwich* yang berbahan inti cangkang telur dilihat dari hasil eksperimen dan pemodelan?
4. Berapa pengurangan berat pada kontruksi kapal yang menggunakan material *sandwich* dibandingkan dengan konstruksi konvensional pada geladak utama kapal *container*?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari material maju inovatif memanfaatkan material limbah dengan berat lebih ringan yang akan diaplikasikan pada kontruksi kapal. Berikut penjabaran yang akan dicapai dari penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui apakah bahan material cangkang telur dapat digunakan sebagai campuran pada material inti *sandwich* dan memenuhi *standard* kriteria yang disyaratkan.
2. Mengetahui nilai sifat mekanikal tertinggi material *sandwich* dengan inti berbahan cangkang telur dari beberapa kombinasi campuran.
3. Mengetahui frekuensi natural dan redaman material *sandwich* dengan inti berbahan cangkang telur baik pada struktur numerik dengan *finite element* dan eksperimen.
4. Mengetahui perbandingan berat konstruksi dari penggunaan material baja dengan material *sandwich panel* campuran *core green material* cangkang telur.

1.4. Manfaat

Manfaat yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai bahan studi lanjutan tentang penggunaan material komposit pada *sandwich panel*.
2. Sebagai referensi untuk pengembangan material maju yang inovatif.

1.5. Hipotesis

Penggunaan material *Sandwich* dengan variasi *core* (inti tengah) yang ramah lingkungan dengan campuran material limbah seperti cangkang telur dapat diaplikasikan dan memenuhi kriteria dari Lloyd's Register untuk menggantikan *profile plate* pada konstruksi sehingga mengurangi bobot mati kapal yang berdampak bertambahnya jumlah muatan yang diangkut.

1.6. Batasan masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis cangkang telur yang dipakai adalah cangkang telur ayam petelur.
2. Pengaplikasian penggunaan *sandwich panel* hanya untuk bagian struktur konstruksi palat datar.
3. Perhitungan perbandingan berat konstruksi hanya diaplikasikan pada konstruksi plat geladak kapal *container*.

4. Peraturan penggunaan *Sandwich panel* mengacu pada peraturan Lloyd's Register tahun 2015
5. Pada penelitian ini tidak dilakukan kajian secara ekonomis penggunaan material *Sandwich Panel* pada kapal.

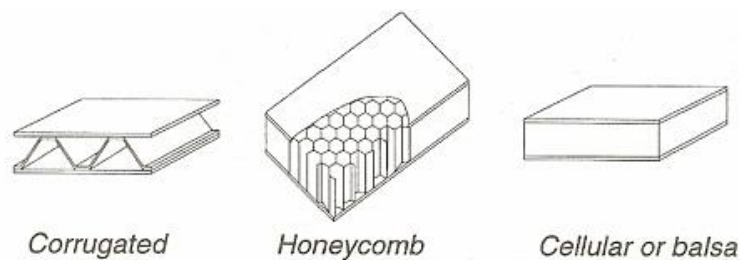
BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Salah satu material maju yang memiliki karakteristik baik dan cocok untuk pengganti konstruksi konvensional adalah material *sandwich*. Material *Sandwich Panel System* merupakan suatu terobosan yang memiliki keunggulan utama yaitu memiliki kekakuan yang baik. Berikut adalah pengertian material *sandwich* dan keunggulannya berdasarkan beberapa referensi penelitian sebelumnya.

2.1 Pengertian *Sandwich Panel System*

Material *sandwich* adalah material dalam bentuk lapisan yang terdiri dari tiga lapisan material yang dijadikan satu. Tiga lapisan ini terdiri dari material *facings sandwich* (material atas bawah) dan material *Core sandwich* (material inti/tengah). Terdapat beberapa jenis bahan yang dapat digunakan sebagai material *facings sandwich* dan *inti*. Material yang digunakan pada umumnya meliputi logam (besi baja, aluminium, dan lain-lain) dan komposit (misalnya polimer yang diperkuat serat). Bahan atau struktur inti yang umum termasuk penguat logam, busa (polimer atau logam), sarang lebah dan kayu balsa.



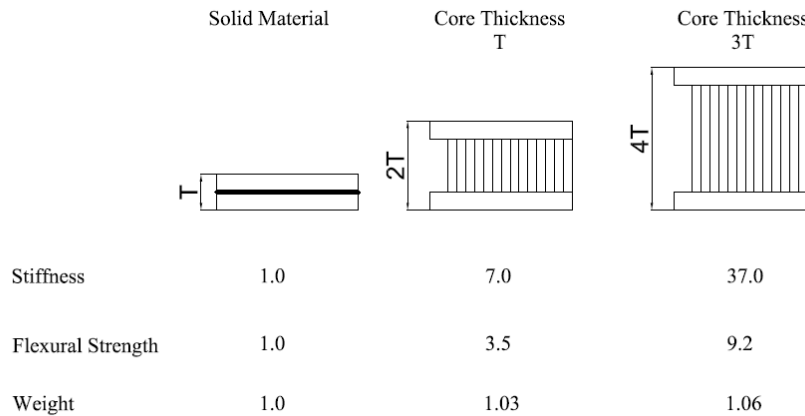
Gambar 2. 1 Konfigurasi *Sandwich* (dari Zenkert 1995)

Pada Gambar 2. 1 Konfigurasi *Sandwich* (dari Zenkert 1995) dapat dilihat bahwa *core* atau inti *sandwich* mempunyai banyak variasi bentuk. Pada penelitian ini bentuk material *sandwich* yang digunakan adalah *cellular* atau balsa.

Momcilovic & Motok (2009) menyatakan bahwa *sandwich panel* merupakan material yang terdiri dari struktur dua pelat logam yang dipisahkan oleh material inti elastomer. *Material sandwich* berbentuk komposit dengan bagian inti *polyurethane elastomer* yang diapit pelat dengan proses injeksi.

2.2 Keuntungan Penggunaan Struktur *Sandwich*

Keunggulan kekakuan dan kelenturan material *sandwich* dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 2. 2.



Gambar 2. 2 Ilustrasi *Sandwich Effect* (Hexcel Composites,2000)

Pada Gambar 2. 2 Ilustrasi *Sandwich Effect* (Hexcel Composites,2000) dapat dilihat bahwa besaran kekakuan (*stiffness*) dan kelenturan (*flexural Strength*) meningkat tajam saat ketebalan *core* bertambah, sementara berat dari material hanya mengalami kenaikan yang sangat kecil dan inilah yang disebut dengan *sandwich effect*. Keuntungan lain dalam pemakaian struktur *sandwich* dibandingkan dengan struktur konvensional adalah:

1. Adanya tingkat kekakuan yang tinggi, maka sesuai untuk kebutuhan tipe desain konstruksi ringan.
2. Material *sandwich* memiliki ketahanan tekuk yang tinggi sehingga bentang besar memerlukan jumlah profil lebih sedikit.
3. Diperlukan profil yang lebih sedikit sehingga meningkatkan pemanfaatan ruang kosong.
4. Keunggulan pada bidang perkapalan Menurut *Brooking & Kennedy* (2004)
 - Struktur yang sederhana dan mudah untuk dibangun
 - Perawatan yang dibutuhkan minimal
 - Menambah ketahanan terhadap korosi
 - Ketahanan terhadap retak dan masalah struktural lainnya
5. Tambahan keunggulan pada bidang perkapalan :

- Fabrikasi yang mudah. Dalam fabrikasi *sandwich* lebih sedikit *intersection*, lebih sedikit pengelasan, lebih sedikit penegar dan luas permukaan berkurang.
- Biaya lebih murah. Secara keseluruhan, membangun konstruksi dan operasional konstruksi yang menggunakan *sandwich* memiliki biaya yang lebih rendah daripada konstruksi konvensional. Desain *sandwich* akan menghapus sumber konsentrasi tegangan dan akan mengurangi efek dari inisiasi retak dan kelelahan, yang secara langsung berdampak pada biaya pemeliharaan.

6. Tambahan Keunggulan Utomo & Baidowi (2015)

- Ketahanan terhadap getaran dan peredaman terhadap kebisingan. *sandwich* memberikan ketahanan yang jauh lebih baik dari penggunaan baja.
- Ketahanan terhadap balistik, diuji dengan dimensi peluru 7,62 mm, hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa kurva balistik untuk *sandwich* berada di bawah dari baja, yang menandakan *sandwich* lebih tahan terhadap ketahanan balistik dibanding dengan material baja.

2.3 Aplikasi *Sandwich Panel* pada Konstruksi Kapal

Brooking dan Kennedy (2004) telah melakukan penelitian pada produksi kapal tanker 14000 DWT dengan menggunakan metode FEM (*Finite Element Methode*), dalam analisisnya *sandwich* digunakan untuk konstruksi pelat datar. Hasil analisa yang dilakukan menunjukkan nilai tegangan yang terjadi pada konstruksi yang menerapkan penggunaan *sandwich* memberikan nilai yang sangat kecil dari kriteria tegangan yang diizinkan.

Baidowi dan Utomo (2015) melakukan simulasi FE pada penggunaan *sandwich* pada konstruksi *inner bottom* kapal *bulk carier* (BC) 11.000 DWT, dengan membandingkan pola distribusi tegangan dan deformasi pada konstruksi *inner bottom* yang menggunakan material baja AH36 dengan ketebalan 18 mm dan digantikan dengan material *sandwich*, dihasilkan nilai tegangan maksimum pada baja AH36 sebesar 226 Mpa dan *sandwich* sebesar 221 Mpa. Hilangnya penegar

berat konstruksi berkurang sebesar 13,05% dari penggunaan material baja AH36 memberikan peningkatan *payload* sebesar 13,05%.

2.4 Komposisi Material Inti (*Core*) *Sandwich Panel*

Pada penelitian ini, material inti (*core*) pada *sandwich panel* merupakan campuran dari *Unsaturated Polyester Resin*, katalis, cangkang telur, dan pewarna.

2.4.1 Cangkang Telur

Cangkang atau kulit telur adalah bagian terluar dari telur yang berkapur dan berpori dengan ketebalan 0,2-0,4 mm (Koswara, 2009) yang berfungsi melindungi semua bagian dalam telur dari kerusakan (Gambar 2. 3). Cangkang telur tersusun atas 3 lapis struktur, yaitu lapisan kutikula, lapisan *sponge* (busa) dan lapisan lamellar.



Gambar 2. 3 Cangkang telur ayam

Lapisan kutikula merupakan protein transparan yang melapisi permukaan cangkang telur. Lapisan ini melapisi pori-pori dan dapat dilalui gas sehingga keluarnya uap air dan gas CO₂ masih dapat terjadi (Rivera, 1999).

Lapisan *sponge* (busa) dan lamellar merupakan bagian terbesar dari lapisan cangkang telur (Rivera, 1999). Lapisan busa yang membentuk matriks yang tersusun oleh serat-serat protein yang terikat dengan kristal kalsium karbonat (CaCO₃).

Lapisan lamellar (mamilary) merupakan lapisan ketiga dari cangkang telur yang terdiri dari lapisan yang berbentuk kerucut dengan penampang bulat atau lonjong. Lapisan ini sangat tipis dan terdiri dari anyaman protein dan mineral (Rivera, 1999).

Komposisi utama dalam cangkang ini adalah kalsium karbonat (CaCO_3) sebesar 94% dari total bobot keseluruhan cangkang, kalsium fosfat (1%), bahan-bahan organik (4%) dan magnesium karbonat (1%) (Rivera, 1999) sebagaimana terlihat pada Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1 Komposisi Cangkang Telur (Rivera, 1999)

Komponen	Berat (%)
Kalsium Karbonat (CaCO_3)	94%
Magnesium Karbonat (MgCO_3)	1%
Kalsium Fosfat (CaPO_4)	1%
Bahan Organik	4%

Cangkang telur ayam petelur yang membungkus telur umumnya beratnya 9%-12% dari berat telur total. Ketersediaan material cangkang telur sangat berlimpah di Indonesia. Hal itu dapat dilihat dari data pusat statistik (BPS) bahwa Produksi Telur di Indonesia setiap tahunnya selalu mengalami peningkatan. Pada tahun 2017 produksi telur nasional mencapai 1.527.134,87 Ton. Gambar 2. 4 berikut ini merupakan grafik produksi telur Indonesia dari tahun 2009-2017.



Gambar 2. 4 Grafik Produksi Telur Indonesia (Sumber Badan Pusat Statistik)

2.4.2 Unsaturated Polyester Resin (UPR)

Unsaturated Polyester Resin (UPR) biasa disebut dengan Resin 157. UPR, sebagaimana terlihat pada Gambar 2. 5, merupakan jenis polimer termoset yang terbuat dari reaksi polimerisasi antara asam dikarbosilat dengan glikol. Polimer dilarutkan dalam monomer reaktif seperti *styrene* untuk menghasilkan cairan

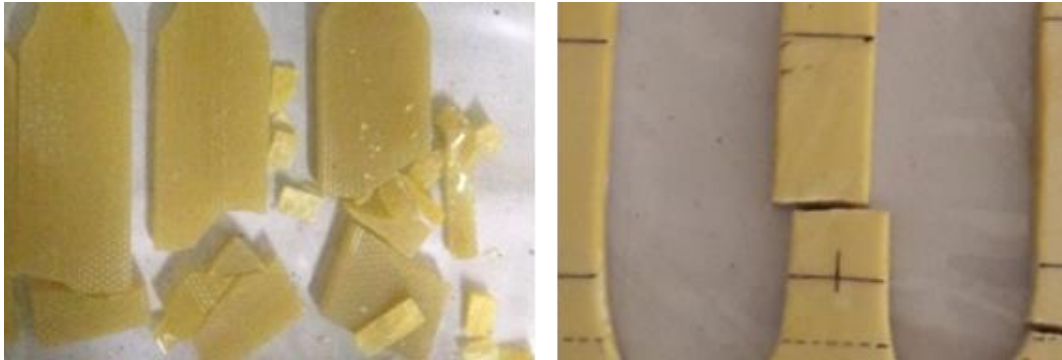
viskositas yang rendah. Ketika sedang mengalami pengeringan, monomer bereaksi dengan salah satu ikatan tak jenuh pada polimer dan mengakibatkan perubahan struktur thermoset menjadi padat. UPR juga merupakan salah satu produk yang sering digunakan dalam industri komposit.



Gambar 2. 5 Unsaturated Polyester Resin

Unsaturated Polyester Resin memiliki jenis *Ortho-phthalic Resin* yang tahan terhadap air. Produk *Ortho-phthalic* ini juga memiliki beberapa jenis produk, salah satunya yaitu YUKALAC 157 BQTN-EX yang banyak digunakan dalam bidang pembuatan kapal di Indonesia.

Utomo (2015) melakukan pengujian tarik terhadap material *Unsaturated Polyester Resin* dan mempunyai nilai *tensile strength* 16,89 Mpa, Modulus Elastisitas 164,67 Mpa dan *elongation* 10,25 %. Pada Gambar 2. 6 (a) dapat dilihat kegagalan material fatal pada spesimen yang dilakukan uji tarik dimana patahan yang terjadi dalam bentuk pecahan dan serpihan. Pada Gambar 2. 6 (b) menunjukkan bentuk patahan material UPR dengan campuran *Talc*. Sebagaimana bentuk dari hasil pengujian tarik, maka untuk menghindari kerusakan fatal material ini membutuhkan campuran material lain.



(a)

(b)

Gambar 2. 6 Gambar Kegagalan material Unsaturated Polyester Resin

2.4.3 Katalis

Katalis atau *Methyl Ethyl Ketone Peroxide (MEKP)* merupakan *hardener* atau pengeras resin. Katalis berdifat cair, bening, dan memiliki bau menyengat yang berfungsi sebagai pengering saat dicampur resin. Berdasarkan wujudnya, katalis dapat dibedakan menjadi katalis homogen dan katalis heterogen (James E. Brady, 1990). Gambar 2. 7 merupakan bentuk dari katalis yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 2. 7 Katalis

2.4.2 Pigmen/ Pewarna

Pigmen adalah pewarna resin berupa pasta. Warna pigmen bermacam-macam tetapi untuk pembuatan *rockwork* sebaiknya digunakan warna dasar (hitam, putih, merah, biru dan kuning). Pada umumnya pemilihan warna untuk mempermudah proses akhir saat pengecatan. Penggunaanya dengan cara

dicampurkan pada resin. Pada penelitian ini menggunakan warna dasar kuning sebagaimana Gambar 2. 8.



Gambar 2. 8 Pigmen Pewarna Pasta

2.5 Standardisasi Pengujian Material

LR, (2015) mengatur standardisasi pengujian *matrial sandwich panel*, baik untuk persyaratan *core matrial* hingga kriteria persyaratan *sandwich panel* yang digunakan. Standardisasi pengujian dan kriteria nilai hasil pengujian ditetapkan sebagaimana Tabel 2. 2.

Tabel 2. 2 Standardisasi Pengujian dan Kriteria *Sandwich Panel*

<i>Property</i>	<i>Test Standard</i>	<i>Acceptance Criteria</i>
<i>Density</i>	ISO 845	$\geq 1000 \text{ kg/m}^3$ at RT
<i>Hardness</i>	DIN 53505	Shore D ≥ 65 at RT
<i>Tensile Strength</i>	ASTM D638	$\geq 20 \text{ MPa}$ at RT
<i>Tensile Modulus</i>		$\geq 5 \text{ MPa}$ at +80°C
<i>Elongation at break</i>		Min. 10% at -20°C Min. 20% at RT
<i>Shear Modulus</i>	ASTM C393	$G \geq 312-2,4T$ (°C)
<i>Bond shear strength from beam flexure</i>	ASTM C393	$\geq 2.7 \text{ MPa}$ (shot strength blasted) $\geq 4 \text{ MPa}$ (grit blasted)

<i>Property</i>	<i>Test Standard</i>	<i>Acceptance Criteria</i>
<i>Compressive strength</i>	ASTM D695	-
RT = Room temperature in °C		

2.5.1 Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui kepadatan dari material *sandwich plate system* berdasarkan ISO 845. Dimensi dibentuk secara manual untuk memudahkan perhitungan volume pada material dengan minimum volume 100 cm³.

Besaran nilai densitas (ρ) benda uji dengan satuan kg/m³ diperoleh dari persamaan (2.1):

$$\rho = \frac{m}{v} \times 10^6 \quad (2.1)$$

Keterangan :

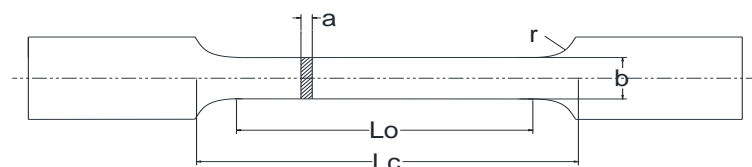
m : massa, untuk spesimen uji, (gr)

V : volume spesimen uji (mm³)

Nilai densitas ρ didapat dari nilai rata-rata spesimen benda uji

2.5.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan material yang akan diuji. Spesimen *core sandwich* dibentuk menjadi spesimen yang disesuaikan dengan aturan ASTM D638. Gambar 2. 9 merupakan bentuk dari spesimen uji tarik.



Gambar 2. 9 Spesimen Uji Tarik

Keterangan :

a : ketebalan *core material* (mm)

- b : lebar spesimen *core material* (mm)
 L_0 : panjang awal (mm)
 L_c : panjang bidang spesimen yang akan diuji (mm)
 S_0 : luas penampang pada spesimen
 r : radius

Tegangan tarik yang dihasilkan dari pembebanan tarik pada spesimen uji tarik ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.2.

$$\sigma_{tk} = F/A \quad (2.2)$$

Keterangan:

- F = Gaya (N)
 A = Luas penampang S_0 (mm²)
 σ_{tk} = Tegangan tarik material (Mpa)

Elongasi yang terjadi dihitung menggunakan persamaan 2.3.

$$\text{Elongation, (\%)} = \frac{(L-L_0)}{L_0} \cdot 100 \quad (2.3)$$

Keterangan:

- L = pertambahan panjang material (mm)
 L_0 = panjang awal (mm)

Reduksi pada daerah yang putus akibat pembebanan tarik dihitung menggunakan persamaan 2.4.

$$\text{Reduction in area, (\%)} = \left(\frac{(S_0 - S_u)}{S_0} \right) \cdot 100 \quad (2.4)$$

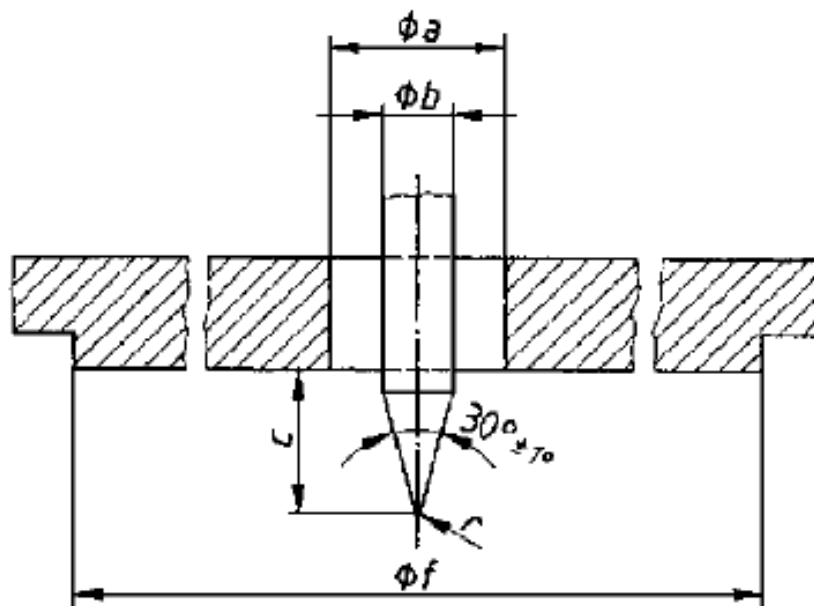
Keterangan:

- S_0 = luasan terkecil penampang setelah spesimen putus.
 Dengan nilai modulus elastisitas, E_f didapatkan dari tegangan tarik dibagi dengan regangan yang terjadi ($\Delta L/L_0$).

2.5.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan atau *hardness* menggunakan standard DIN 53505. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan *core* atau inti *sandwich* yang digunakan. Kekerasan (*hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui, khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*). Kekerasan diartikan juga sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban identasi atau penetrasi (penekanan).

Uji kekerasan pada penelitian ini dilakukan menggunakan durometer. Durometer adalah alat pengukur kekerasan benda yang didasarkan pada kekuatan perlawanan dari penetrasi jarum ke dalam bahan uji di bawah beban pegas. Beberapa bahan yang dapat diuji oleh durometer yaitu karet, plastik, pipa, kayu dan lain-lain. Pada penelitian ini digunakan durometer Shore D sesuai dengan aturan DIN 53505.



Gambar 2. 10 Bentuk identer pada *Shore D*

Pada Gambar 2. 10 dapat dilihat bentuk dari identer/penekan pada *Shore D* yang berbentuk runcing pada ujungnya. Keterangan dimensi pada *Shore D* dapat dilihat pada Tabel 2. 3.

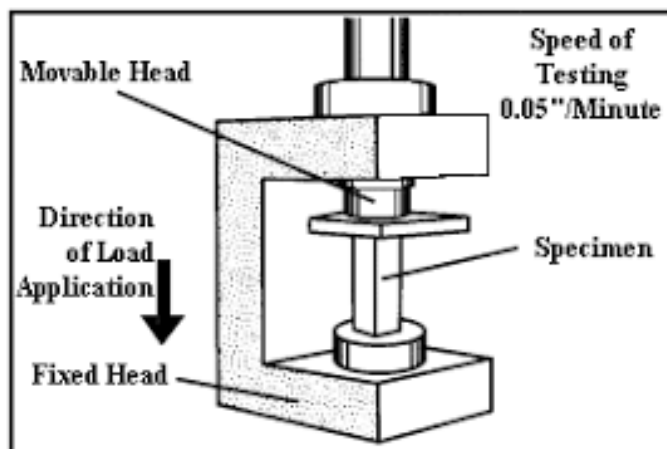
Tabel 2. 3 Dimensi Identer *Shore D*

a	$\Theta (3\pm 0.10)$ mm	<i>Identer hardened and polished</i>
b	$\Theta (1.25\pm 0.15)$ mm	
c	(2.5 ± 0.02) mm	
d	(0.79 ± 0.01) mm	
r	(0.1 ± 0.01) mm	
f	$\Theta (18.25\pm 0.5)$ mm	

Pada pengujian kekerasan yang sesuai dengan standard DIN 5305, *spesimen* pengujian kekerasan memiliki ketebalan minimum 6 mm dengan permukaan yang datar dan rata. Pengujian dilakukan pada suhu ruangan dan material yang diuji harus sekurang-kurangnya 16 jam setelah dicetak. Pengujian dilakukan dengan cara menekan durometer tegak lurus terhadap *spesimen*. Proses pengujian adalah dengan menekan selama tiga detik, namun untuk *spesimen* yang memiliki karakter cukup kuat adalah dengan menekan selama 15 detik.

2.5.4 Pengujian Tekan (*Compression Test*)

Pengujian tekan atau *compressive strength test* dilakukan sesuai standard ASTM D695. Uji tekan atau *compressive strength test* adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang sesumbu secara lambat. Alat untuk pengujian tekan seperti terlihat pada Gambar 2. 11.

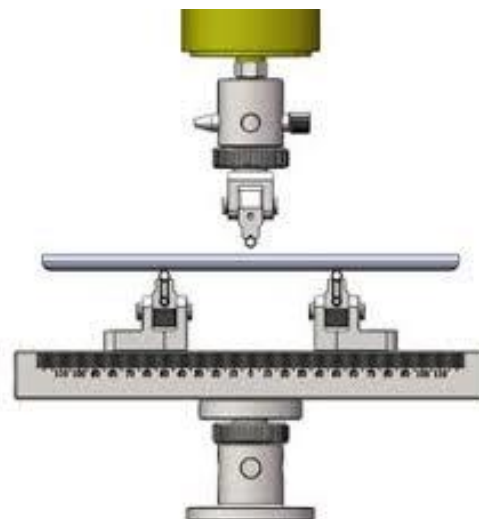


Gambar 2. 11 *Compression Tool*

Sesuai standar ASTM D695 spesimen uji mempunyai bentuk silinder atau prisma. Panjang *spesimen* uji adalah dua kali dari lebar atau diameter. Untuk bentuk silinder ukuran diameter 12.7 mm dengan panjang 25.4 mm. Minimum jumlah tes spesimen yang diuji yaitu lima spesimen. Nilai *Compressive strength* adalah hasil pembagian *maximum compressive load* dibagi dengan *minimum cross sectional area*.

2.5.5 Pengujian lentur (*Flexural Test*)

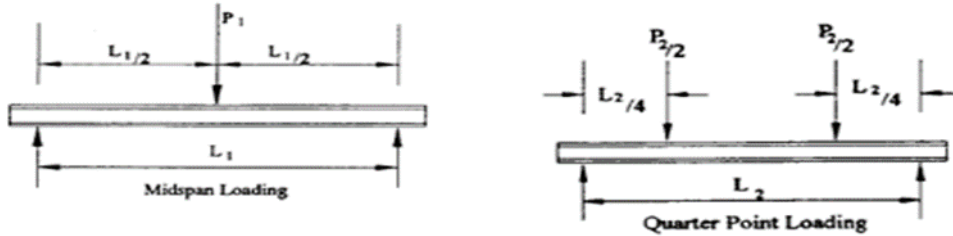
Pengujian lentur atau *flexural test* dilakukan pada spesimen *sandwich panel* untuk mengetahui kondisi material terhadap pembebanan lentur berdasarkan nilai tegangan lentur dan defleksi yang terjadi. Spesimen benda uji yang dibuat harus dalam bentuk persegi panjang dengan ketebalan *sandwich panel* berdasarkan hasil perhitungan ketebalan, dengan lebar dari spesimen tidak kurang dari 2 kali total ketebalan atau tidak lebih dari 1,5 panjang bentang. Sedangkan panjang dari spesimen merupakan panjang bentang yang ditambahkan 50 mm. Bentuk pengujian lentur yang diberikan oleh ASTM C393, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. 12.



Gambar 2. 12 Bentuk Pengujian Lentur

Pengujian lentur pada standar ASTM C393 dilakukan tidak hanya untuk menentukan kekakuan lentur *sandwich* (*sandwich flexural stiffness*), namun juga untuk menentukan dan menghitung *core shear strength* dan *shear modulus*.

Pengujian ini juga dapat menentukan nilai ikatan antara inti dengan pelat (*core-to-facing bonds*).



Gambar 2. 13 (*ASTM C 393, Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions*)

Gambar 2. 13 menunjukkan dua tipe pengujian dari pembebanan tunggal pada spesimen dan pembebanan ganda, dengan aturan jarak posisi pembebanan yang diberikan pada tiap tipe pengujian yang dilakukan.

Tegangan geser *core*, pada pembebanan tunggal (*midspan loading*), dapat dihitung dengan persamaan 2.6.

$$\tau = \frac{P}{(d+c)b} \quad (2.6)$$

dengan tegangan lentur, *midspan loading*, dihitung dengan persamaan 2.7.

$$\sigma_{lt} = \frac{PL}{2t(d+c)b} \quad (2.7)$$

Defleksi atau lendutan spesimen dihitung berdasarkan persamaan 2.8.

$$\Delta = \frac{PL^3}{48D} + \frac{PL}{4U} \quad (2.8)$$

dengan nilai kekakuan lentur untuk lapisan luar yang sama dihitung dengan persamaan 2.9.

$$D = \frac{E(d^3 - c^3)b}{12} \quad (2.9)$$

Selanjutnya dalam pengujian lentur, diperlukan perhitungan modulus kerusakan (*Modulus of Rupture*) dengan menggunakan persamaan 2.10 berdasarkan ASTM C 393:

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (2.10)$$

Berikut ini adalah notasi untuk persamaan (2.6) hingga (2.10):

τ = tegangan geser *core*, (MPa)

σ_t = tegangan lentur, (MPa)

P = beban, (N)

d = ketebalan *sandwich*, (mm)

c = ketebalan lapisan *core*, (mm)

b = lebar *sandwich*, (mm)

L = panjang bentang, (mm)

Δ = total defleksi bidang tengah bentang, (mm)

G = modulus geser inti, lihat (G_c , bab 2), (MPa)

E = modulus elastisitas lapisan baja, lihat (E_f), (MPa)

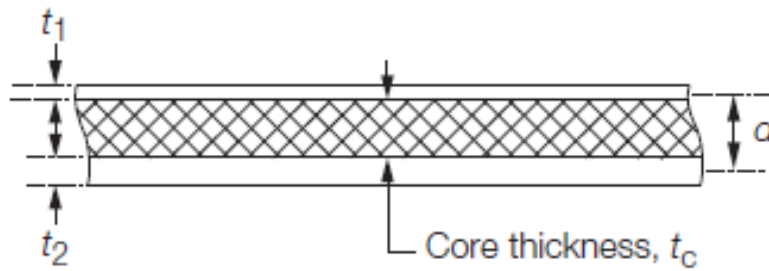
D = kekakuan lentur panel, (N.mm²)

$$U = \frac{G(d+c)^2 b}{4c}, \text{ (N)}$$

R = *modulus of rupture*, (MPa)

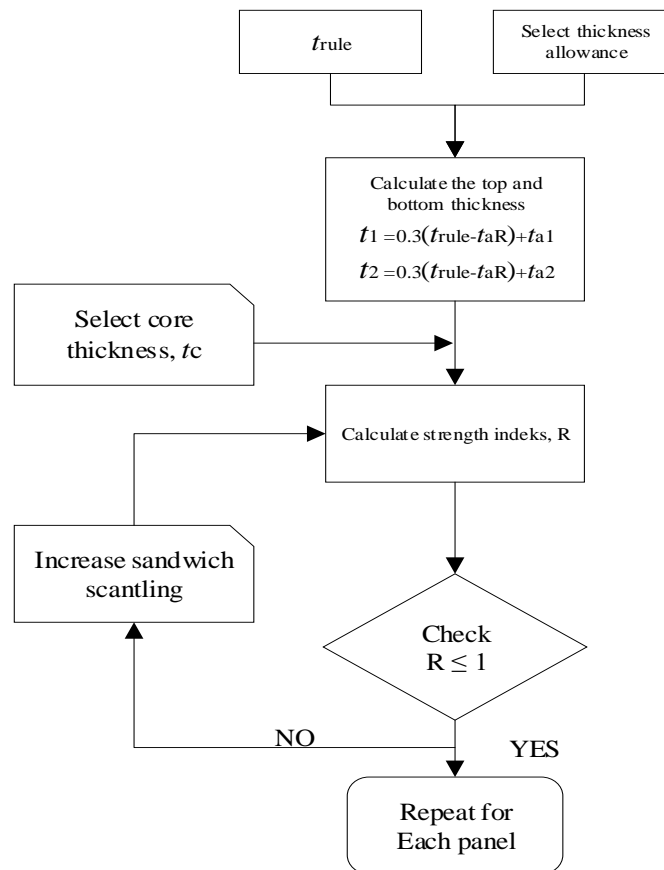
2.6 Penentuan Ketebalan *Sandwich Panel*

Penentuan ketebalan *sandwich panel* mengacu pada standar Lloyd's Register (LR), 2015 yaitu *Provisional Rules for the Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure*. Pada LR telah dijelaskan bahwa *sandwich panel* terdiri dari tiga bagian yaitu pelat atas (*top plate*), inti (*core*), dan pelat bawah (*bottom plate*). Pada Gambar 2. 14 menunjukkan bahwa *sandwich panel* memiliki tiga bagian, yaitu t_1 untuk ketebalan lapisan atas (*top plate*), t_2 untuk ketebalan lapisan bawah (*bottom plate*) dan t_c untuk ketebalan lapisan inti *core material*.



Gambar 2. 14 Ketebalan *Sandwich Plate*

Ketebalan minimum dari rancangan *sandwich panel* dihitung berdasarkan standard *LR*, yang mana langkah-langkah perhitungan untuk menentukan ketebalan *sandwich* dapat dilihat pada skema seperti pada Gambar 2. 15.



Gambar 2. 15 Perhitungan Tebal *Sandwich Panel Menurut Lloyd's Register (LR)*

Pada Tabel 2. 4 dapat dilihat bahwa untuk konstruksi baru ketebalan minimum pelat atas (*top thickness*) dan pelat bawah (*bottom thickness*) adalah 3 mm. Sedangkan untuk konstruksi lapisan atas, minimum tebal pelat atas 3 mm dan pelat bawah minimum 50% dari tebal pelat sesuai *rules*.

Tabel 2. 4 Ketebalan Minimum Pelat

Item	Minum thickness in mm	
	New construction	Overlay construction
t_{1MIN}	3,0	3,0
t_{2MIN}	3,0	50 % of the as-built thickness

Minimum ketebalan *core* (t_c) = 15 mm

Tabel 2. 5 memperlihatkan tentang *thickness allowance* yang diatur oleh LR.

Tabel 2. 5 Thickness Allowance

Strusture	t_{aR}	t_{a1}	t_{a2}
Bottom shell	1	0	1
Side shell	1	0	1
Inner bottom, hopper plating	2	1	1
Inner bottom, at crown of tank	3.5	1	2.5
Strength deck	3.5	2	0
Internal deck	0	0.0	0
Superstructure Deck	0	0.0	0
Watertight bulkheads	0	0.0	0
Deep tank bulkheads	2.5	0.0	2.5
Deep tank crown which is also a deck	3.5	1.0	2.5
Vahicle deck clear of tanks	2	2	0

Perhitungan *strength index*, R dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.11. Apabila nilai $R \leq 1$ atau dalam suatu perhitungan nilai R tidak memenuhi, maka harus dilakukan perhitungan ulang.

(2.11)

$$R = 0,01A_R 0,1 \left[\frac{b^2}{d(t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{bt_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] kP_{eq}; R \leq 1$$

Keterangan:

$$A_R = \left(\frac{a}{b} \right)^{0,65}$$

$$P_{eq,R} = 0,0017 (Z_{rule}/l^2), \text{ (MPa)}$$

$$L = \text{panjang panel, (m)}$$

$$Z_{rule} = \text{ekivalen modulus penampang, (cm}^3\text{); disesuaikan penampang } \textit{midsihip}$$

$$t_c = \text{pilihan ketebalan lapisan inti, (mm)}$$

$$a = \text{panjang panel pada tepi terpanjang, (mm)}$$

- b = lebar panel pada tepi terpendek, (mm)
 d = parameter ketebalan, (mm)
 t_1, t_2 = ketebalan panel lapisan atas dan bawah, (mm)
 t_{rule} = tebal pelat sesuai *rules*, mm
 k = faktor kekuatan baja

Penggunaan sandwich pada kondisi konstruksi *overlay* yang biasanya dilakukan untuk melapisi bagian pelat baja pada konstruksi kapal, penentuan ketebalan lapisan inti diperhitungkan dengan persamaan 2.12.

$$R = 0,0125 \left[0,1 \frac{s^2}{d(t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{st_c}{d^2} \right)^{1,3} \right] P_{eq}; R \leq 1 \quad (2.12)$$

Keterangan:

- s = jarak antara *longitudinal stiffeners*, (mm)
 P_{eq} = $200 (t_{rule}/s)^2$, (MPa).

Besaran t_{rule} , disesuaikan dengan tipe kapal yang akan dianalisa. perhitungan ketebalan ini mengacu standardisasi class yang dipakai kapal. Di dalam perhitungan nilai *strength index*, R harus kurang dari atau sama dengan satu. Jika nilai R tidak memenuhi maka harus melakukan perhitungan ulang.

2.7 Finite Element Method

Finite Element Method adalah metode numerik untuk menyelesaikan masalah teknik (*engineering*) dan matematik fisik. Cakupan penyelesaian dari kedua masalah ini berupa analisis struktur, transfer panas, aliran fluida, transportasi massa dan potensial elektromagnetik. Analisa metode elemen hingga didasarkan pada representasi badan atau sistem struktur yang dirakit dari elemen-elemen badan/sistem. Elemen-elemen ini membentuk sistem jaringan elemen melalui hubungan/sambungan di titik-titik nodal elemen. Umumnya fungsi perpindahan yang ditetapkan bagi pendekatan variasi perpindahan di setiap elemen adalah fungsi polinomial.

Persamaan kesetimbangan bagi elemen didapatkan dari prinsip energi potensial minimum. Persamaan ini diformulasikan bagi sistem atau badan

keseluruhannya dengan perakitan persamaan elemen-elemen dalam sistem koordinat struktur sedemikian rupa sehingga terpenuhi kontinuitas perpindahan di titik-titik nodal. Dari syarat-syarat batas sistem struktur/badan yang harus terpenuhi, maka diperoleh perpindahan yang terjadi di titik-titik nodal elemen.

Finite element method dapat digunakan untuk menganalisa masalah struktural dan non-struktural.

Area struktur antara lain:

- *Stress analysis*, termasuk analisa regangan dan *frame*, dan konsentrasi tegangan yang berhubungan dengan perubahan bentuk pada sebuah *body*.
- *Buckling*.
- Analisa getaran.

Non-struktural termasuk:

- Perpindahan panas.
- Aliran fluida.
- Distribusi magnetik dan elektrik.

Keuntungan dari penggunaan *finite element method* adalah:

- Bentuk irreguler dapat dengan mudah dibuat.
- Mudah didalam penanganan kondisi beban secara umum.
- Model dapat disusun dengan material yang berbeda, karena persamaan element dievaluasi secara individu.
- Dapat dengan mudah dianalisa pada berbagai macam kondisi dan jumlah batasan.
- Bervariasinya ukuran elemen dapat dimungkinkan untuk menggunakan element yang kecil.
- Pengubahan model pada elemen hingga dapat dilakukan dengan mudah dan murah.
- Termasuk efek dinamika.
- Dapat dengan mudah menganalisa pada deformasi yang besar dan nonlinier material.

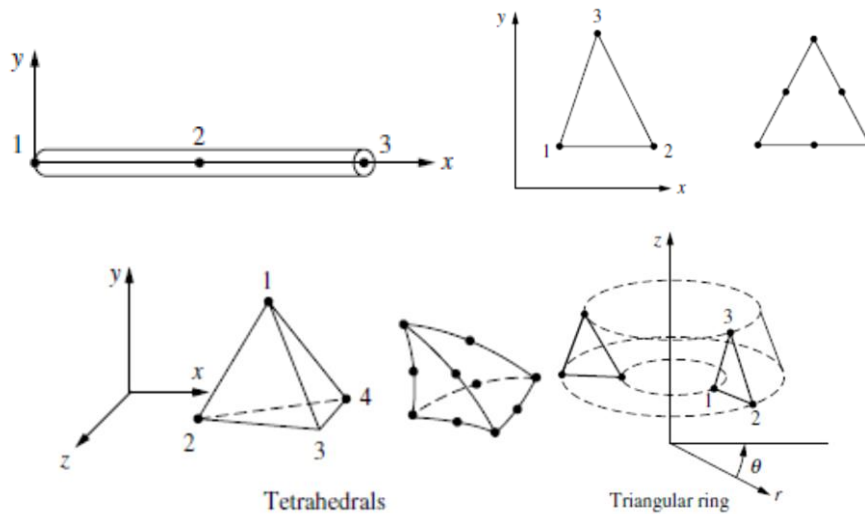
Di dalam analisis elemen hingga, elemen yang digunakan dalam analisis struktur ditetapkan dari tanggap sistem struktur terhadap beban luar. Langkah-

langkah bagi formulasi dan solusi metode elemen hingga dipahami secara khusus mengenai tipe elemen-elemen sistem struktur, seperti elemen batang aksial, elemen balok, elemen tegangan bidang, dan lain-lain.

Secara umum metode elemen hingga terdiri dari beberapa langkah dasar yaitu:

1. Diskritisasi dan pemilihan tipe elemen

Diskretisasi adalah proses membagi suatu struktur menjadi elemen-elemen kecil yang berhingga dan memiliki geometri yang lebih sederhana. Elemen-elemen ini berhubungan pada titik-titik simpul (*node*) membentuk rangkaian yang secara bersama dan keseluruhan mendekati bentuk struktur sebenarnya. Bentuk geometri struktur yang kompleks dapat disederhanakan dengan diskretisasi untuk lebih mempermudah penganalisaan (Tawaf dan Asroni, Tanpa Tahun). Gambar 2. 16 merupakan beberapa jenis elemen menurut Logan, 2017.



Gambar 2. 16 Beberapa jenis elemen (Logan, 2007)

2. Pemilihan fungsi perpindahan

Variasi perpindahan pada suatu elemen didekati dengan fungsi interpolasi yang didasarkan pada harga simpul yang mengitari. Perpindahan dengan fungsi interpolasi ini disebabkan sulitnya mencari jawaban tertutup, sehingga dipilih suatu bentuk jawaban, yaitu distribusi perpindahan yang merupakan besaran

yang tidak diketahui dengan memakai fungsi yang harus memenuhi hukum, prinsip dan syarat batas yang menjadi sifat persoalan.

3. Mendefinisikan hubungan regangan/pergeseran dan tegangan/regangan
Hubungan ini bertujuan untuk mendapatkan persamaan untuk setiap elemen hingga, dan dapat dirumuskan sesuai dengan persamaan 2.13

$$\varepsilon_x = \frac{du}{dx} \quad (2.13)$$

dari hukum tegangan dan regangan, hukum *Hooke*, sering digunakan dalam analisis tekan sesuai dengan persamaan 2.14.

$$\sigma_x = E\varepsilon_x \quad (2.14)$$

Keterangan:

σ_x = tegangan sepanjang x

E = modulus elastisitas

ε_x = regangan sepanjang x

4. Penurunan matrik dan persamaan kekakuan elemen

Secara umum persamaan elemen dalam bentuk matrik dituliskan pada persamaan 2.15:

$$\{f\} = [k]\{d\} \quad (2.15)$$

Keterangan:

$\{f\}$ = vektor dari gaya elemen *node*

$[k]$ = matrik kekakuan elemen

$\{d\}$ = vektor elemen *node* yang tidak diketahui dari derajat kebebasan dan perpindahan umum

5. Merakit persamaan elemen untuk mendapatkan persamaan global atau persamaan total dan memperkenalkan kondisi batas. Persamaan elemen individu yang dihasilkan pada langkah 4 dapat ditambahkan dengan menggunakan metode superposisi (disebut metode kekakuan langsung) yang berdasar kesetimbangan gaya nodal, untuk memperoleh persamaan global

seluruh struktur. Rakitan akhir atau persamaan global ditulis dalam bentuk persamaan:

$$\{f\} = [K]\{d\} \quad (2.15)$$

Keterangan:

$\{f\}$ = vektor dari gaya elemen *node*

$[K]$ = struktur global atau total matrik kekakuan

$\{d\}$ = vektor struktur *node* yang diketahui dan tidak diketahui dari derajat kebebasan dan perpindahan umum

6. Penyelesaian untuk derajat kebebasan yang tidak diketahui (atau perpindahan umum) Persamaan (2.15) dimodifikasi untuk memperhitungkan kondisi batas, adalah serangkaian persamaan aljabar simultan yang dapat ditulis dalam bentuk matrik yang diperluas:

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{Bmatrix}$$

n adalah jumlah total struktur derajat kebebasan node yang tidak diketahui (Logan, 2007).

7. Penyelesaian untuk regangan dan tegangan elemen

Pada analisis tegangan struktural, jumlah regangan dan tegangan (atau momen dan gaya geser) dapat diperoleh karena dapat secara langsung dinyatakan dalam istilah perpindahan yang ditentukan pada langkah 6.

8. Menginterpretasikan hasil

Tujuan akhir adalah menafsirkan dan menganalisa hasil untuk digunakan dalam desain/proses analisa. Penentuan lokasi di struktur dimana deformasi yang besar dan tegangan besar terjadi penting dalam pembuatan keputusan.

Program komputer *Postprocessor* digunakan untuk menginterpretasikan hasil dalam bentuk grafik.

2.8 Karakteristik Dinamik

Karakteristik dinamik pada suatu struktur sangat penting untuk diketahui untuk menghindari getaran yang berlebihan pada struktur tersebut. Karakteristik dinamik pada suatu struktur dapat diketahui melalui pemodelan secara numerik menggunakan metode elemen hingga dan diuji secara experimental. Karakteristik dinamik ditentukan oleh frekuensi pribadi, amplitudo dan modus getar. Getaran pada suatu struktur dapat terjadi karena adanya eksitasi baik yang berasal dari dalam maupun dari luar sistem. Jika frekuensi eksitasi berada di sekitar frekuensi pribadi sistem maka dapat terjadi fenomena resonansi yang akan mengakibatkan amplitudo getaran yang tinggi. Amplitudo yang tinggi yang equivalent dengan defleksi dapat mengakibatkan kegagalan pada suatu sistem mesin struktur.

2.8.1 Getaran

Getaran adalah sebuah fenomena, baik alami maupun mekanis dengan osilasi yang terjadi di antara titik keseimbangan. Osilasi adalah peristiwa berayunnya suatu benda untuk mencapai titik keseimbangannya.

Frekuensi natural adalah saat dimana sebuah sistem mengalami *displacement* yang sangat besar akibat getaran walaupun gaya yang bekerja sangat kecil. Frekuensi natural adalah frekuensi sistem yang mempunyai getaran bebas tanpa peredaman.

Benda yang mengalami getaran lama kelamaan akan berusaha kembali ke titik keseimbangannya. Secara perlahan benda akan berkurang amplitudonya hingga *displacement* benda tersebut menjadi nol. Hal yang mempengaruhi pengurangan *displacement* ini adalah redaman. Di dalam redaman terdapat hal yang dinamakan *damping ratio*. *Damping ratio* adalah parameter yang tidak memiliki dimensi sebagai perbandingan antara damping yang terjadi dengan *critical damping* yang diharapkan pada benda tersebut. Jadi *damping ratio* dapat dituliskan seperti persamaan 2.16:

$$\zeta = \frac{c}{c_c} \quad (2.16)$$

Keterangan:

- ζ = *damping ratio*
 c = actual damping
 c_c = damping kritis

Sebuah struktur apabila digetarkan maka akan terjadi osilasi pada frekuensi natural (ω) yang merupakan milik sistem itu sendiri. Frekuensi natural juga dipengaruhi oleh kekakuan dan massa. Perhitungan matematis frekuensi natural getaran didapat dari persamaan 2.17 (Thomson 1980):

$$\omega_n = (\beta_n l)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho l^4}} = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.17)$$

Nilai dari $(\beta_n l)$ tergantung dari kondisi tumpuan, untuk batang dengan kondisi tumpuan menggunakan persamaan (Thomson 1980). Hal ini terlihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Nilai Numerik $(\beta_n l)^2$ untuk Keadaan Ujung Tertentu (Thomson, 1980)

Konfigurasi Batang	$(\beta_{1l})^2$ Mode 1	$(\beta_{2l})^2$ Mode 2	$(\beta_{3l})^2$ Mode 3
Ditopang sederhana	9.87	39.5	88.9
Konsol	3.52	22.0	61.7
Bebas-bebas	22.4	61.7	121.0
Jepit-jepit	22.4	61.7	121.0
Jepit-engsel	15.4	50.0	104
Engsel-bebas	0	15.4	50.0

Keterangan:

frekuensi natural (Hz)

- ρ = massa jenis material (kg/m^3)
 l = panjang balok (m)
 I = momen inersia balok (m^4)
 E = Modulus Young (N/m^2)

Estimasi Frekuensi Natural. Frekuensi natural dari *mode* ke-r dipilih berdasarkan nilai tertinggi dari amplitudo pada frekuensi sekitar *mode* pada persamaan 2.18.

$$|\alpha_r(\omega)|_{max} = \omega_r = \omega_{peak} \quad (2.18)$$

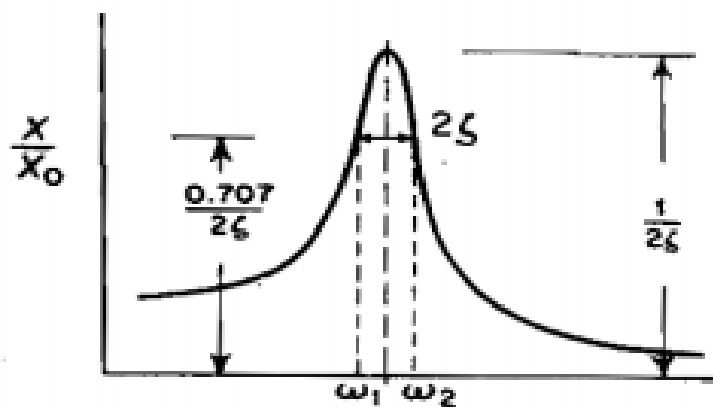
α_r = amplitude pada *mode* ke-r

ω_r = estimasi frekuensi natural pada *mode* ke-r

Lokasi dari ω_a dan ω_b harus ditentukan terlebih dahulu untuk setiap sisi dari puncak *spectrum* yang ingin diidentifikasi untuk mengestimasi redaman. Posisinya adalah sebuah titik dengan *amplitude* $\frac{\alpha_{max}}{\sqrt{2}}$, untuk kemudian *damping ratio* dapat diestimasi menggunakan persamaan 2.19.

$$\zeta_r = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2\omega_r} \quad (2.19)$$

Penentuan estimasi redaman tersebut dapat digambarkan pada grafik Gambar 2. 17.



Gambar 2. 17 Penentuan Estimasi Redaman, *Half power bandwidth*

(Thomson, 1980)

2.8.2 *Modal Analysis*

Modal analysis adalah studi tentang sifat dinamis dalam domain frekuensi yang dilakukan dengan cara mengukur dan menganalisa respon dinamik dari suatu struktur atau sistem selama eksitasi. *Modal analysis* sudah diaplikasikan pada beberapa bidang seperti aerodinamika, sipil dan struktur bangunan, masalah biomekanikal, struktur luar angkasa, instrument akustikal, transportasi dan lain-lain.

Modal analysis merupakan proses menentukan karakteristik material yang telah ada pada material tersebut dalam bentuk frekuensi natural, faktor *damping* dan mode getaran dimana mode natural struktur telah ada dalam material dan ditentukan berdasarkan karakteristik fisiknya seperti *massa*, kekakuan, *damping*. *Modal analysis* dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, diantaranya adalah untuk *troubleshooting*, reduksi model matematik, modifikasi struktur, deteksi kerusakan dan lain-lain.

Komputer *modelling finite element* saat ini telah menyediakan *tools* yang mendukung terjadinya proses analisa dinamis. Tetapi, *modelling* dengan komputer tidak bisa menentukan perilaku dinamis material secara keseluruhan. Hal ini dikarenakan ada beberapa karakteristik material yang tidak bisa dimasukkan ke dalam program seperti *damping* dan *nonlinearity* material.

Modal analysis dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, diantaranya adalah:

a) *Troubleshooting*

Troubleshooting menggunakan modal analisis secara eksperimen dapat dilakukan pada struktur dinamis yang diteliti. Hasil yang didapatkan adalah natural frekuensi, factor *damping*, dan bentuk *mode* getaran

b) Metode validasi

Aplikasi dari struktur dinamis bergantung pada *model* matematis yang akurat. *Model-model* tersebut bisa dibuat menggunakan *model* elemen hingga (FEM). Tetapi metode FEM tidak merepresentasikan struktur sesungguhnya, karena banyak faktor yang bisa berpengaruh pada material asli dibandingkan dengan

kondisi pada *model*. Oleh karena itu, sebuah analisa eksperimen dapat digunakan untuk “membenarkan” sebuah FE *model*.

c) Modifikasi struktural

Perubahan struktural dapat berpengaruh besar terhadap *massa*, kekakuan atau peredaman sebuah struktur dinamis.

d) Deteksi kerusakan struktur

Pendeteksian kerusakan struktur yang tidak bisa dilihat menjadi prioritas dalam bidang industri. Pada bidang konstruksi sipil, contohnya jembatan yang biasa dilakukan adalah dengan menguji sebuah benda dalam kondisi normal, yang kemudian dilakukan cacat struktur dan dilakukan pengujian kembali sehingga terjadi perubahan data dari modal analisis. (He Jimin, 2001)

2.8.3 *Modal Analysis Experiment*

Experimental Modal Analysis (EMA) metode yang dilakukan untuk mengetahui frekuensi alami, mode getar, dan rasio redaman dari pengukuran vibrasi pada eksperimen. Pada metode EMA diperoleh data *frequency response function* (FRF) dari sebuah struktur. data yang diperoleh dari FRF biasa digunakan lebih lanjut untuk berbagai kepentingan teknis. (He Jimin, 2001)

Pada pengujian laboratorium digunakan *single input* dan *single output*. Dimana terdapat tiga komponen utama yaitu pemberi gaya, sensor pengukur yang penerima respon gaya, dan alat pengubah signal sensor menjadi data pengujian.

Pemberi gaya pada penelitian ini dengan peralatan jenis *hammer* yang termasuk dalam jenis eksitasi secara *impact*. Eksitasi jenis ini adalah jenis yang paling mudah digunakan dan diaplikasikan. Penerima respon gaya pada pengujian ini adalah *accelerometer* dimana berfungsi untuk mengukur percepatan yang terjadi pada material dan *output signal* dalam bentuk voltase *accelerometer* yang paling banyak digunakan adalah *piezoelectric*. Pengubah sinyal yang diterima accelerator adalah *analyser*. Dimana hanya dua aspek yang bisa diproses datanya, yaitu *frekuensi* dan *amplitude*.

Pada Penelitian ini mengambil beberapa referensi dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

Winahyu, (2017) melakukan penelitian dengan getaran pada material *Sandwich Panel* dengan kerusakan tunggal pada material intinya. Nilai perbedaan maksimal adalah 7.37% dengan Rata-rata perbedaan hasil penelitian ini secara keseluruhan hanya 1.52%. Hasil eksperimen menjadi tolok ukur pada proses verifikasi. Hal ini dikarenakan eksperimen merupakan representasi keadaan sebenarnya.

Waily, (2013) melakukan verifikasi dengan membandingkan hasil pengujian menggunakan *software* ANSYS dan pengujian dimana didapatkan hasil *error* yang tidak terlampau jauh.

Jovanovic, (2012) dan Waily, (2013) melakukan eksperimen kerusakan pada material menggunakan metode *modal analysis*. Pada penelitian didapatkan bahwa semakin besar cacat yang terdapat pada sebuah material maka frekuensi natural yang dimiliki benda tersebut akan semakin turun.

Kumar Jha, (2007) melakukan penelitian tentang material *sandwich* dimana *faceplate* yang digunakan adalah aluminium dengan *core* juga berbahan aluminium namun berbentuk konstruksi *honeycomb*. Maksimal *error* yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah 9% dari hasil Penelitian dilakukan dengan variasi kondisi jepit dari material dan dilakukan dengan tiga metode, *experimental*, *analytical*, dan *software analysis*.

2.8.4 Fourier Transform

Fourier transform merupakan hal yang dasar dalam *modal analysis*. Salah satu fungsi utamanya adalah mengubah spektrum hasil pengujian getaran dari *time domain* menjadi frekuensi domain (dan sebaliknya). Formula dari *Fourier Transform* pada persamaan 2.20.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-i\omega t} dt \quad (2.20)$$

Dimana:

X(f) = fungsi *spectrum* pada frekuensi domain

X(t) = fungsi *spectrum* pada *time domain*

i = $\sqrt{-1}$

ω = frekuensi (Hz)

t = waktu (sec)

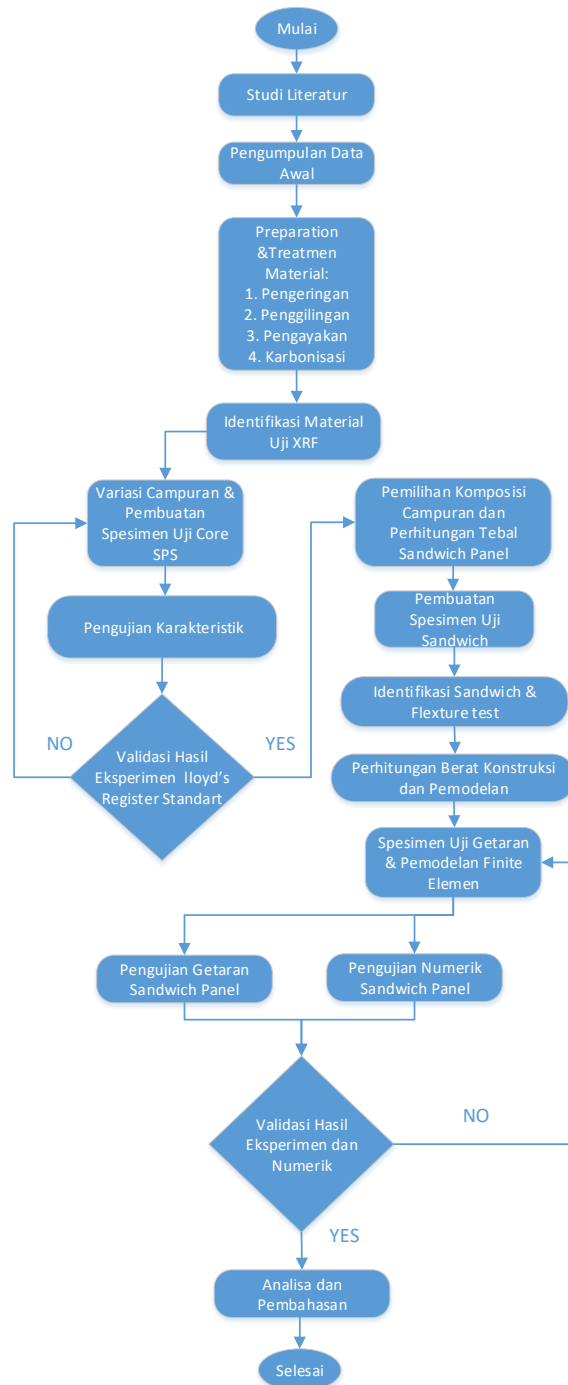
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Metodologi yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar

3. 1



Gambar 3. 1 Bagan Metodologi Penelitian

3.2 Studi Literatur

Dalam tahap ini, penulis mencari sumber informasi yang berkaitan dan mendukung penelitian, seperti buku, *paper*, hasil penelitian, hasil seminar, internet dan lain sebagainya

3.3 Pengumpulan Data Awal

Pada tahap ini, penulis mengumpulkan data yang berkaitan dengan material cangkang telur dan material *sandwich* sebagai data awal untuk langkah penelitian selanjutnya. Data yang dikumpulkan berupa *treatment* material, cara pengujian, aplikasi material *sandwich*, hingga hasil pengujian serupa yang relevan dapat dijadikan pijakan awal sehingga hasil penelitian ini lebih maksimal. Pada tahap ini juga dilakukan pengumpulan data kapal yang akan dilakukan simulasi dengan konstruksi material *sandwich panel*.

3.4 Persiapan dan *Treatment* Material

3.4.1 Pengeringan

Pada penelitian ini material cangkang telur dicuci dengan air terlebih dahulu untuk kemudian dikeringkan. Terdapat tiga metode pengeringan yang sudah dilakukan sebagaimana terlihat pada Gambar 3. 2, yaitu dengan menggunakan:

1. Alat Pengering Putar
2. Oven
3. Terik Matahari



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. 2 Metode Pengeringan (a) Pengering putar, (b) Oven, (c) Terik Matahari

Metode pengeringan dengan mesin pengering putar memiliki kelemahan yaitu hasilnya kurang maksimal. Metode pengeringan dengan menggunakan oven tidak disarankan jika oven yang dipakai adalah oven untuk keperluan rumah tangga karena *timer* yang kurang lama. Metode pengeringan dengan terik matahari hasilnya baik, namun membutuhkan waktu yang panjang sekitar ± 2 hari dan sangat tergantung cuaca. Metode pengeringan yang dipakai pada penelitian ini adalah gabungan antara metode 1 dan metode 3 yaitu dikeringkan dengan pengering putar selama 15 menit kemudian dijemur pada terik matahari selama ± 2 hari.

3.4.2 Penggilingan

Setelah dilakukan proses pengeringan pada cangkang telur maka dilakukan penggilingan. Pada penelitian ini, metode penggilingan cangkang telur dilakukan dengan menggunakan mesin penggiling ukuran paling kecil yang digunakan untuk menggiling tepung, kopi, dan serbuk lainnya. Metode penggilingan juga dilakukan dengan *Blender*. Gambar 3. 3 memperlihatkan proses penggilingan cangkang telur yang sudah dikeringkan.



(a)

(b)

Gambar 3. 3 (a) Mesin Penggilingan Tepung dan (b) Blender

3.4.3 Pengayakan

Cangkang telur yang telah melalui proses penggilingan berbentuk serbuk. Serbuk cangkang telur kemudian diayak dan diidentifikasi size partikelnya. Ayakan yang digunakan adalah mesh 50. Gambar 3. 4 menunjukkan hasil cangkang telur yang telah dijadikan serbuk.



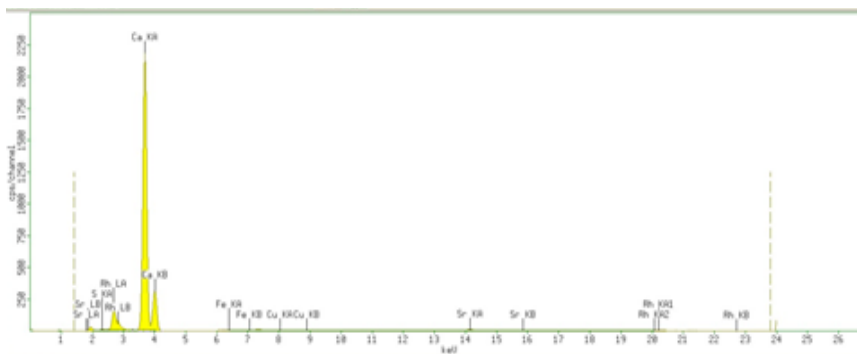
Gambar 3. 4 Serbuk Cangkang Telur

3.4.4 Karbonisasi

Serbuk cangkang telur terbuat dari bahan organik yang dapat mengalami proses pembusukan. Langkah yang dilakukan untuk menghilangkan unsur organik dari material cangkang telur adalah proses karbonisasi.

3.5 Identifikasi Material dengan Uji XRF

Pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) dilakukan untuk mengetahui kandungan komposisi material serbuk cangkang telur setelah dilakukan *treatment* karbonisasi. Hasil pengujian tersebut terlihat pada Gambar 3. 5.



Gambar 3. 5 Hasil Pengujian (XRF) Serbuk Cangkang Telur yang Dikarbonisasi

Pada hasil pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) diketahui bahwa kandungan material serbuk cangkang telur yang telah dilakukan proses karbonisasi sangat didominasi kandungan Kalsium Oksida hingga 99%. Selain itu, juga terdapat kandungan Sulfur Trioksida, Bijih Besi, Tembaga Oksida dan Stronsium Oksida. Prosentase kandungan dari karbonisasi cangkang telur dapat dilihat pada Tabel 3. 1

Tabel 3. 1 Tabel Kandungan Serbuk cangkang Telur yang Dikarbonisasi

<i>Compound</i>	<i>Name</i>	<i>Concentration</i>	<i>Unit</i>
SO ₃	Sulfur Trioksida	0.38	%
CaO	Kalsium Oksida	99.35	%
Fe ₂ O ₃	Bijih besi	0.079	%
CuO	Tembaga Oksida	0.072	%
SrO	Stronsium Oksida	0.12	%

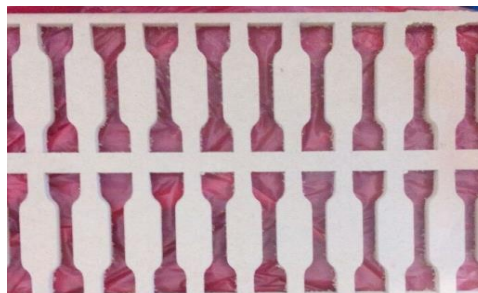
3.6 Variasi campuran *core material* & pembuatan Spesimen Uji

Variasi campuran pada spesimen uji untuk *core material* dilakukan untuk mengetahui pengaruh campuran material serbuk cangkang telur. Terdapat 6 variasi pada spesimen uji berdasarkan persen campuran serbuk cangkang telur, yaitu 0%, 10%, 20%, 30%, 35% dan 40%. Variasi campuran berdasarkan presentase berat campuran serbuk cangkang telur dapat dilihat pada Tabel 3. 2.

Tabel 3. 2 Tabel Variasi Campuran pada *Core*

NO	% CAMPURAN <i>CORE</i>		ESTIMASI BERAT TOTAL DALAM 1 KG		
	RESIN 157 %	TELUR %	RESIN 157 (g)	TELUR (g)	KATALIS 1% (g)
1	100	0	1000	0	10
2	90	10	900	101,0	9
3	80	20	800	202,0	8
4	70	30	700	303,0	7
5	65	35	650	353,5	6,5
6	60	40	600	404,0	6

Pembuatan spesimen uji *Core Material* dengan variasi pada Tabel 3. 2 dilakukan dengan cara dicetak. Ukuran cetakan mengacu pada standard ASTM D638. Gambar 3. 6 memperlihatkan cetakan yang digunakan untuk penelitian ini. Cetakan terbuat dari kayu MDS/kayu olahan yang diukir menggunakan mesin CNC, sehingga ukuran spesimen uji memiliki ketelitian yang baik.



Gambar 3. 6 Cetakan Spesimen Uji *Core Sandwich* Sesuai ASTM D638

Material Resin 157/ (*Unsaturated Polyester Resin*) dan serbuk cangkang telur yang telah ditimbang selanjutnya ditempatkan dalam satu wadah adonan dan dicampur menggunakan *mixer* selama ± 10 menit. Pada adonan kemudian ditambahkan katalis sebanyak 1% dari berat total resin dan dicampur kembali selama ± 1 menit, selanjutnya adonan dituang ke dalam cetakan. Proses pembuatan spesimen *core material* dapat dilihat pada Gambar 3. 7.



Gambar 3. 7 Gambar (a) Proses Pencampuran Adonan, (b) Proses Penuangan, (c) Proses Pengeringan, (d) Spesimen Uji *Core Sandwich*

3.7 Pengujian Karakteristik *Core Sandwich*

Pengujian karakteristik material *core* dengan campuran cangkang telur pada penelitian ini mengacu kepada standard Lloyd's Register (LR). Pengujian karakteristik yang disyaratkan LR adalah sebagai berikut:

3.7.1 Pengujian Massa Jenis *Core*

Pengujian *core* mengacu pada ISO 845 karena diaplikasikan pada sistem konstruksi kapal, maka Lloyd's Register (2015) menetapkan standarisasi massa jenis *core material* adalah $\geq 1.000 \text{ kg/m}^3$.

3.7.2 Pengujian Kekuatan Tarik *Core*

Spesimen pengujian kuat tarik *core material* mengacu pada ASTM D638. Gambar 3. 8 menunjukkan pengujian kekuatan tarik pada penelitian ini. Pengujian dilakukan pada alat uji tarik UTM (*Universal Testing Machine*) dengan kapasitas maksimum beban mencapai 100 Ton. Lloyd's Register (2015) mensyaratkan besaran kuat Tarik $\geq 20 \text{ MPa}$ pada temperatur ruangan.



Gambar 3. 8 Pengujian Tarik *Core Material*

3.7.3 Pengujian Kekerasan (*Hardness Test*)

Pengujian kekerasan (*hardness test*) pada *core material* mengacu pada standard DIN 53505 dengan menggunakan alat durometer Shore D sebagaimana terlihat pada Gambar 3. 9, dengan nilai kekerasan yang disyaratkan $\geq 65 \text{ R}$.



Gambar 3. 9 Durometer Shore D

A3.7.4 Pengujian Tekan (*Compressive Test*)

Pengujian tekan atau *compressive test* dilakukan untuk mengetahui seberapa kuat material dapat menerima beban tekan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat *compressive test*. Pengujian tekan mengacu pada standarisasi ASTM D695. Gambar 3. 10 menunjukkan spesimen uji dengan *compressive test machine* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3. 10 Spesimen Uji dan *Compressive Test Machine*

3.8 Pemilihan Komposisi Campuran & Perhitungan Tebal Sandwich

3.8.1 Pemilihan Komposisi Campuran

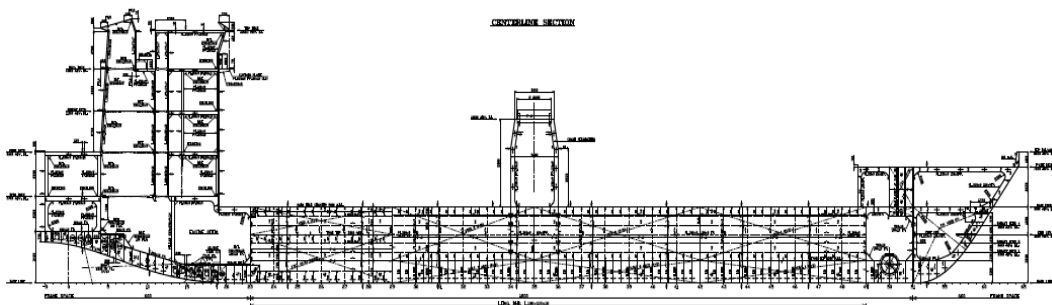
Setelah dilakukan pengujian karakteristik pada 6 variasi campuran *core material* dengan standard Lloyd's Register, maka dipilih 2 variasi *core material* dengan nilai karakteristik terbaik untuk diaplikasikan pada *sandwich panel*.

3.8.2 Perhitungan Tebal Sandwich

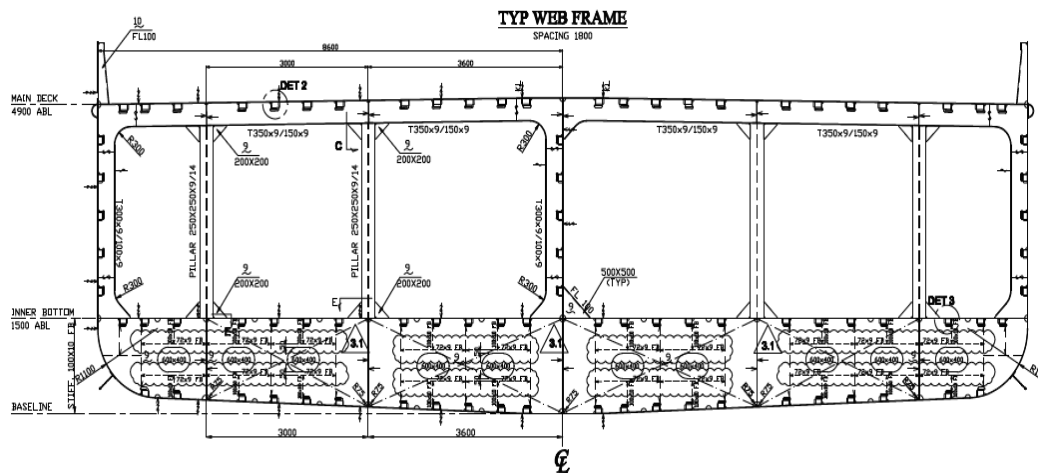
Pada penelitian ini, material *sandwich panel* akan diaplikasikan pada Kapal Kontainer dengan kapasitas 100 Teus. Perhitungan ketebalan *sandwich panel* dihitung sesuai dengan rules Lloyd's Register. Material *sandwich panel* akan diaplikasikan pada geladak utama. Ukuran utama kapal dapat dilihat pada Tabel 3. 3. Perhitungan tebal pelat membutuhkan nilai modulus kapal yang dihitung dari *midship section* sebagaimana pada Gambar 3. 11 dan Gambar 3. 12.

Tabel 3. 3 Tabel Ukuran Utama Kapal Kontainer 100 Teus (Tol Laut)

Type	container
Length Over All (LOA)	77,05 m
Length (Lpp)	72,2 m
Breadth (B)	18,2 m
Draft (T)	3,7 m
Speed	12 Knot
Class	BKI



Gambar 3. 11 Gambar GA Kapal Kontainer 100 Teus (Tol Laut)



Gambar 3. 12 Midship Section

3.9 Pembuatan Material Sandwich

Setelah ketebalan *sandwich* ditentukan selanjutnya membuat *material sandwich* untuk spesimen uji. Terdapat 4 tahapan untuk membuat *material sandwich*.

3.9.1 Persiapan material Face Plate

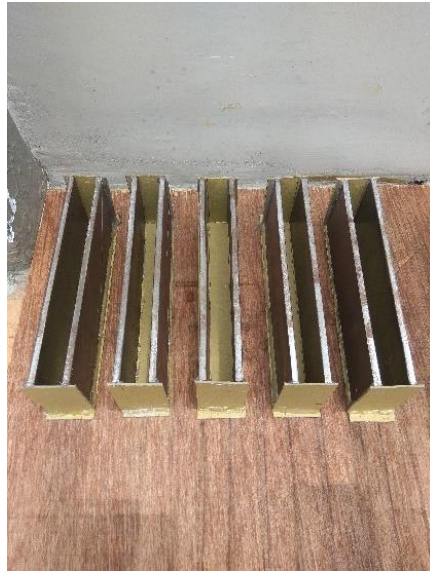
Pada penelitian ini *face plate* yang dipakai adalah material besi. Material *face plate* dipotong sesuai dengan ukuran spesimen uji ASTM D695. Proses penghilangan karat pada permukaan *plate* (*treatment* menggunakan gerinda dengan ujung *wire brush*) dilakukan terlebih dahulu untuk mendapatkan *material sandwich* yang baik. *Treatment* tersebut terlihat pada Gambar 3. 13.



Gambar 3. 13 Treatment Penghilangan Karat pada Face Plate

3.9.2 Cetakan *Sandwich panel*

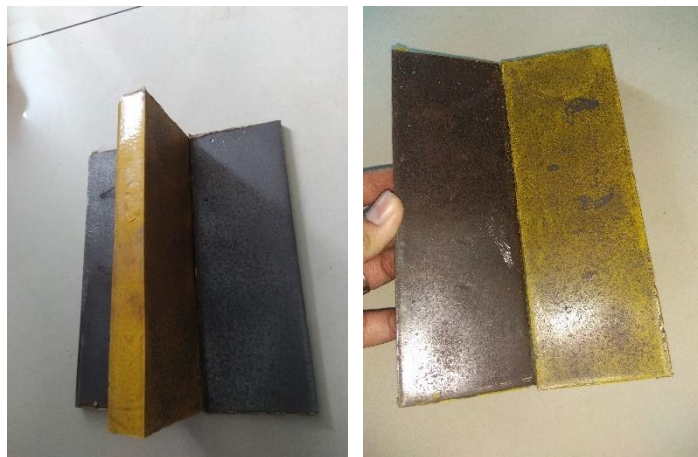
Cetakan dibuat dengan menggabungkan *face plate* dan karton yang direkatkan dengan lem dan bersifat kedap seperti terlihat pada Gambar 3. 14.



Gambar 3. 14 Cetakan *Sandwich Panel*

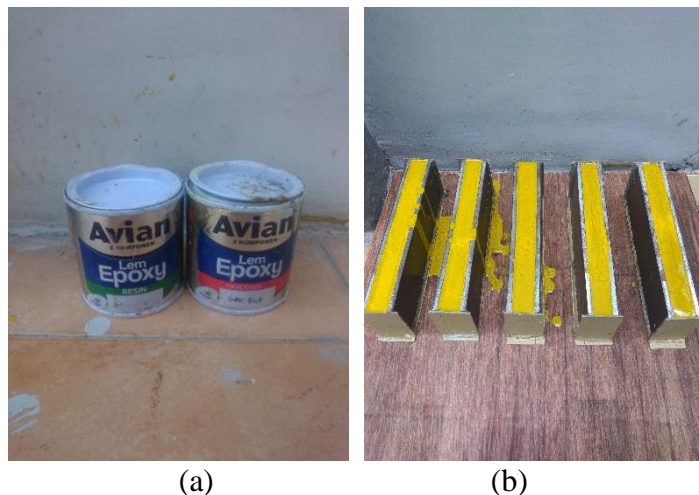
3.9.3 Perekatan dan Pengecoran

Pada percobaan awal pembuatan material *sandwich*, material besi sebagai *face plate* dan campuran resin ditambah cangkang telur sebagai *core* memiliki daya rekat yang kurang baik. Seperti terlihat pada Gambar 3. 15, dua material yang berbeda ini tidak melekat satu sama lain.



Gambar 3. 15 Material *Sandwich* tidak Melekat

Agar terjadi daya adesif atau rekat antara *face plate* dan *core* maka dilakukan pengeleman pada permukaan dalam *face plate*. Pengeleman menggunakan Lem Epoxy seperti pada Gambar 3. 16 (a). Setelah menunggu lem epoxy setengah kering \pm 30 menit, selanjutnya dilakukan pengecoran dengan menuang adonan kedalam cetakan seperti pada Gambar 3. 16 (b). Proses pembuatan adonan sama dengan adonan spesimen *core*.



Gambar 3. 16 (a) Lem Epoxy dan (b) Pengecoran *Sandwich*

3.9.4 *Finishing Material Sandwich*

Proses pelepasan cetakan *sandwich panel* dilakukan setelah inti *core* kering sempurna dengan perkiraan waktu 3-5 jam, kertas karton yang melekat pada *sandwich* dilepas seluruhnya. Spesimen *sandwich* telah siap dilakukan pengujian seperti tampak pada gambar Gambar 3. 17.



Gambar 3. 17 Spesimen Uji *Sandwich Panel*

3.10 Identifikasi *Sandwich Panel*

Identifikasi *sandwich panel* bertujuan mengetahui perubahan karakteristik material penyusun karena adanya penggabungan komponen material (komposit). Dilakukan 2 Pengujian densitas dan pengujian lentur untuk mengetahui besaran massa jenis dan batas nilai tegangan yang akan menghasilkan kegagalan pada material *sandwich panel*.

3.10.1 Pengujian Massa Jenis *Sandwich Panel*

Pengujian densitas atau massa jenis dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan nilai massa jenis dari material *sandwich panel* yang terdiri dari lapisan pelat dan *core*. Standardisasi yang dipakai ISO 845. Besaran nilai densitas didapatkan dari pembagian berat material dengan volume material tersebut. Proses pengujian densitas *sandwich panel* terlihat pada Gambar 3. 18.



Gambar 3. 18 Pengujian Densitas Material *Sandwich Panel*

3.10.2 Pengujian Lentur *Sandwich Panel*

Pengujian lentur *sandwich panel* mengacu pada standarisasi ASTM C 393. Gambar 3. 19 menunjukkan proses pengujian lentur pada *sandwich panel*.

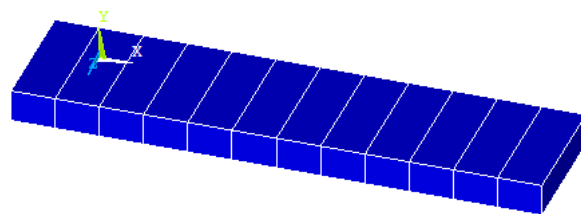


Gambar 3. 19 Pengujian Lentur Pada Material *Sandwich Panel*

Hasil dari pengujian ini adalah pola bentuk grafik hubungan antara tegangan lentur yang dihasilkan dengan *deflection* yang terjadi pada spesimen. Nilai tegangan lentur (σ_{lt}) dan defleksi (Δ) yang dihasilkan menjadi dasar penentuan batas tegangan dan lendutan dari pengaplikasian *sandwich panel* pada konstruksi kapal.

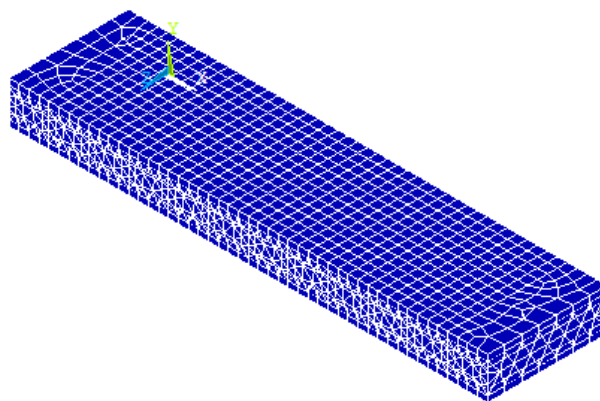
3.11 Pemodelan *Sandwich Panel*

Pemodelan *sandwich panel* pada penelitian ini menggunakan *finite element modelling*. Model *sandwich panel* ini kemudian akan dianalisa struktur dan *modal analysis* untuk mengetahui tegangan maksimum yang terjadi pada material *sandwich panel* pada masing-masing komposisi, serta untuk mengetahui karakteristik dinamika material tersebut dari proses *modal analysis*. Gambar 3. 20 Pemodelan *Sandwich Panel* Pada *Software* merupakan model *sandwich panel* dengan menggunakan *finite element software*.



Gambar 3. 20 Pemodelan *Sandwich Panel* Pada *Software*

Pemodelan yang dibuat memiliki ukuran seperti pada pengujian getaran, yaitu berdimensi panjang 245 mm dan lebar 60 mm. Pemodelan elemen pada software dapat dilihat pada Gambar 3. 21.



Gambar 3. 21 Model Elemen Pada *Software*

3.12 Pengujian Getaran

3.12.1 Persiapan Pengujian

Saat dilakukan pengujian getaran maka spesimen uji harus dikondisikan seperti pada kondisi di lapangan, yaitu pelat yang dilas (jepit) pada kedua ujungnya. Pada penelitian ini pengkondisian spesimen *sandwich* adalah dengan ditempatkan pada dudukan yang menempel kuat pada mesin *fraise*. Dudukan berfungsi untuk menjepit kedua ujung spesimen dan pemasangan pada mesin *fraise* dilakukan agar frekuensi natural spesimen uji tidak dipengaruhi frekuensi natural dudukan dan mesin *fraise*. Posisi spesimen yang akan dilakukan uji getaran dapat dilihat pada Gambar 3. 22.



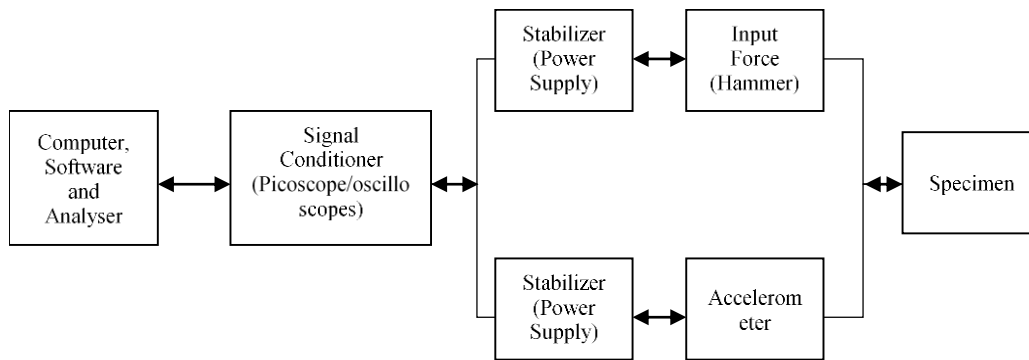
Gambar 3. 22 Dudukan dan Spesimen *Sandwich*

3.12.2 Pengujian Getaran *Sandwich Panel*

Proses untuk melakukan pengujian getaran diawali dengan pengaturan peralatan yang akan digunakan untuk identifikasi hasil pengujian getaran. Peralatan yang digunakan antara lain:

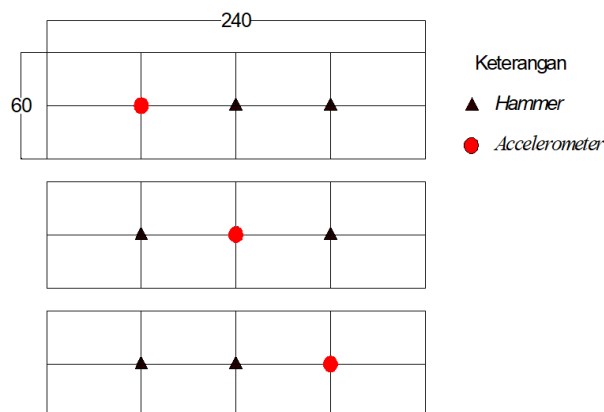
- Sumber daya : Laptop Lenovo ThinkPad
- *Analysers* : Software PicoScope 6 ver 6.11.12.1692
- *Hammer* : Omega IH 101-1K

Pengujian ini menggunakan *Experiment Modal Analysis* dengan metode *impact input* dan *piezoelectric accelerometer*. Gambar 3. 23 memperlihatkan bagan alur pengujian untuk mendapatkan karakteristik dinamis dari material *sandwich panel*.



Gambar 3. 23 Proses Pengambilan Data Getaran pada Spesimen *Sandwich*

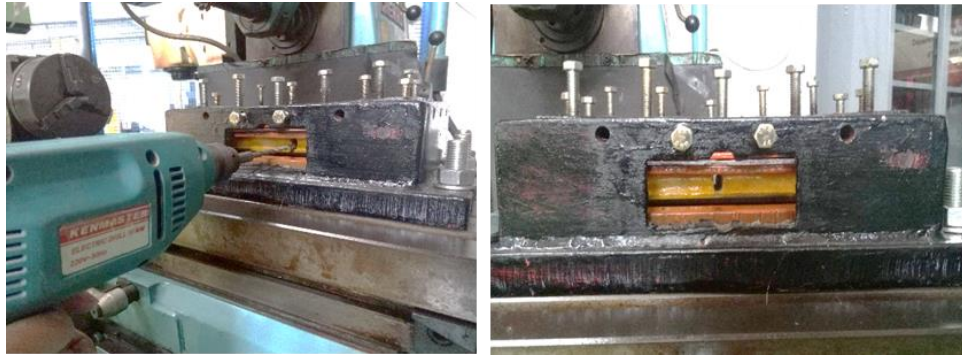
Penentuan posisi *hammer* dan *Accelerator* sangat penting untuk mendapatkan hasil yang maksimal dari uji getaran. Peletakan posisi *hammer* sebagai sumber getaran dan *Accelerator* sebagai penangkap respon getaran dimaksudkan agar frekuensi yang ditangkap tidak bernilai tak terhingga. Pada Penelitian ini penempatan *Accelerator* dan *Hammer* dapat dilihat pada gambar Gambar 3. 24



Gambar 3. 24 Ilustrasi Posisi *Accelerometer* dan Sumber Getaran (*hammer*)

3.12.3 Pembuatan Cacat pada *Sandwich Panel*

Pengujian getaran dilakukan pada kondisi utuh dan pada kondisi cacat. Pengujian pada kondisi cacat disimulasikan dengan pembuatan cacat (*crack*) pada bagian *core* dengan bentuk sesuai dengan kerusakan yang terjadi pada saat dilakukan pengujian lentur, yaitu kerusakan pada *core* berbentuk vertikal setinggi 15 mm dengan kedalaman sampai tembus inti material. Masing-masing cacat yang dibuat memiliki kedalaman 35 mm. Gambar 3. 25 menggambarkan proses pembuatan cacat pada *core* dari material *sandwich panel*.



Gambar 3. 25 Proses Pembuatan Cacat Pada *Sandwich Panel*

3.12.4 Proses Pengolahan Data Uji Getaran

Tahap peratama, data yang terekam pada *analyser* berupa dimensi *signal* listrik. Konversi pada tahap ini diapat melalui data sensitifitas dari *accelerometer* dan *hammer* yang digunakan dalam penelitian. Data sensitifitasnya adalah:

- *Accelerometer sensitivity* : $\frac{10,32}{9,8} mV/ms^2$
- *Hammer sensitivity* : $1,14877737 mV/N$

Kemudian untuk mempermudah analisa hasil, percepatan sebagai *output* pada *accelerometer* dikonversi menjadi *displacement* atau perubahan menggunakan formula pada persamaan 3.1.

$$x = \frac{a}{2\pi^2 f^2} \quad (3.1)$$

Formula *Fourier Transform* digunakan pada data, *force* yang digunakan harus memenuhi hingga frekuensi yang akan diidentifikasi, apabila tidak memenuhi maka dilakukan pengujian ulang. *Spectrum displacement* berdasarkan *frekuensi domain* dapat diidentifikasi dan dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan karakteristik dinamis dari material tersebut. Proses identifikasi frekuensi natural dilakukan setelah data dari frekuensi domain telah diketahui. Hal yang perlu diperhatikan juga adalah nilai koherensi dari hasil pengujian tersebut. Langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi *peak* yang merupakan frekuensi natural berdasarkan perkiraan estimasi dari proses analisa pemodelan.

Dikarenakan jumlah peak yang terdapat pada pengujian banyak dan sulit dibedakan, maka dilakukan proses verifikasi *peak* menggunakan sudut fase. *He Jimin* (2001), pada bukunya menyatakan bahwa secara teori, sudut fase pada sebuah mode getaran akan berubah sebanyak -180° . Hal ini menandakan perubahan drastis dari positif ke negatif atau sebaliknya. Jika *peak* yang diestimasi menunjukkan perubahan sudut fase seperti diatas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa *peak* pada frekuensi tersebut merupakan frekuensi natural dari *sandwich panel*.

BAB IV

ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Penelitian

Penggunaan cangkang telur pada *Core material sandwich* merupakan salah satu bentuk inovasi dalam bidang material perkapalan. Material inti atau *core* yang digunakan merupakan kombinasi antara *Unsaturated Polyester Resin* (UPR) dengan material serbuk cangkang telur yang telah karbonisasi. Penelitian ini dapat dikategorikan menjadi 5 kegiatan utama, yaitu persiapan bahan, identifikasi *core material*, identifikasi *sandwich*, pemodelan pada komputer, perhitungan pengurangan berat konstruksi dari simulasi pergantian konstruksi konvensional dengan material *sandwich*.

4.2 Persiapan Bahan

4.2.1 Pemilihan Ukuran Serbuk cangkang Telur

Pada penelitian sebelumnya diterangkan bahwa semakin kecil ukuran partikel maka semakin baik ketika menjadi sebuah isian atau *filler* dalam suatu campuran. Ukuran partikel yang lebih kecil meningkatkan perpindahan *stress* yang menyebabkan material dapat menahan beban yang lebih tinggi. Isian yang halus menyebabkan *area of interfacial* menjadi lebih tinggi. (Yusof and Afifi, 2014).

Cangkang telur yang telah melalui proses penggilingan berbentuk serbuk. Serbuk cangkang telur kemudian diayak dan diidentifikasi *size* partikelnya dengan cara pengayakan 1kg serbuk cangkang telur menggunakan saringan mesh 10, 16, 30, 50, 100, dan 200 pada *particle separation device*.

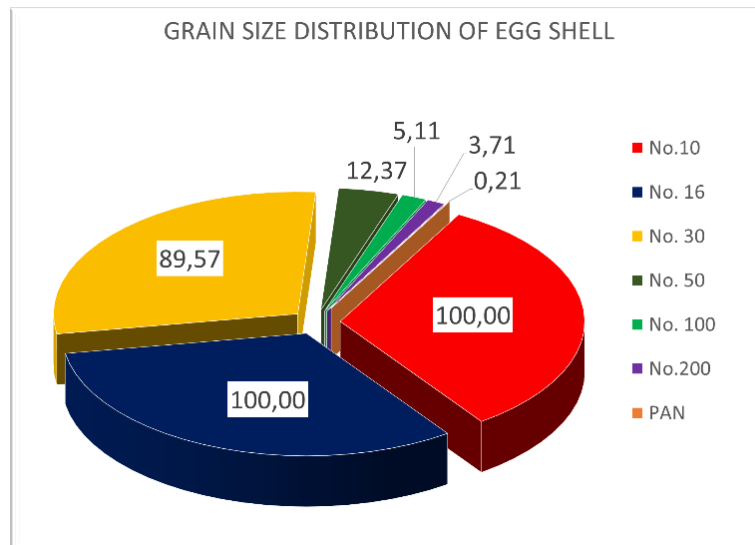


Gambar 4. 1 Proses Identifikasi Size Partikel Serbuk Cangkang Telur

Gambar 4. 1 menunjukkan proses identifikasi size partikel yang dilakukan di Lab Material ITS di Kampus Manyar. Hasil yang didapat dari pengujian ini terlihat pada Tabel 4 1.

Tabel 4 1 Tabel *Grain Size Distribution* Cangkang Telur

<i>Material</i>		=	<i>EGG SHELL POWDER</i>	
<i>Weight of Material (gr)</i>		=	1000	
<i>Weight of Can (gr)</i>		=	0	
<i>f</i> (mm)	<i>#</i> <i>Sieve</i>	<i>Weight (gr)</i>	<i>%</i> <i>Retained</i>	<i>%</i> <i>Passing</i>
2	No.10	0	0	100
1,19	No. 16	0	0	100
0,595	No. 30	104,35	10,435	89,565
0,297	No. 50	772	77,2	12,365
0,149	No. 100	72,5	7,25	5,115
0,074	No.200	14	1,4	3,715
	PAN	35	3,5	0,215



Gambar 4. 2 Diagram *Grain Size Distribution* Serbuk Cangkang Telur

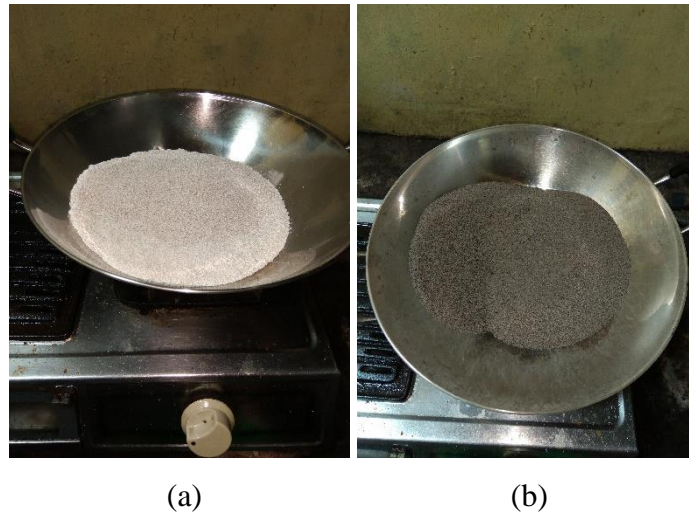
Pada Gambar 4. 2 diketahui bahwa pada ayakan dengan ukuran mesh 50 sebanyak 77,2% partikel serbuk cangkang telur tertahan, sehingga dilakukan penggilingan kembali, baik dengan mesin penggilingan maupun *blender* agar tidak banyak serbuk cangkang telur yang terbang. Dengan melakukan 2 kali proses penggilingan ditambah dengan bantuan *blender*, maka 90% material cangkang telur dapat digunakan. Sebanyak 10% material *loss*/hilang dalam proses penggilingan dan pengayakan, sehingga diputuskan pada penelitian ini menggunakan mesh 50. Dalam skala pabrik, ukuran mesh sangat dimungkinkan lebih besar dengan dukungan mesin yang lebih memadai.

4.2.2 *Treatment Material*

Serbuk cangkang telur ini merupakan *filler* atau isian pada resin pada *core material*. Serbuk cangkang telur terbuat dari bahan organik yang dapat mengalami proses pembusukan. Karbonisasi dilakukan untuk menghilangkan unsur organik pada serbuk cangkang telur. Gambar 4. 3 menunjukkan serbuk cangkang telur (a) dan cangkang telur yang telah melalui proses karbonasi (b).

Proses karbonisasi dilakukan dengan cara dipanaskan/disangrai pada suhu $>100\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama ± 1 jam. Manfaat lain karbonisasi pada material serbuk cangkang

telur untuk campuran *core* adalah dapat meningkatkan *tensile strength*. A.B Hasan et all (2012).



Gambar 4. 3 (a) Serbuk Cangkang Telur (b) Serbuk Cangkang Telur Karbonisasi

4.3 Identifikasi Massa Jenis *Core Material*

Pengujian massa jenis atau densitas *core material* dilakukan sesuai dengan standar ISO 845, dimana material yang diuji memiliki volume minimum 100 cm^3 dengan minimal spesimen uji sebanyak 5 buah. Sesuai penjelasan pada bab 3. Metodologi Penelitian sub bab 3.6 Variasi Campuran *Core*, maka dilakukan perhitungan massa jenis pada 6 variasi campuran *core material*. Ukuran spesimen uji yang dipakai adalah dengan panjang 10 cm, lebar 10 cm dan tebal 1 cm seperti pada Gambar 4. 4 Pengujian Massa Jenis *Core Material*

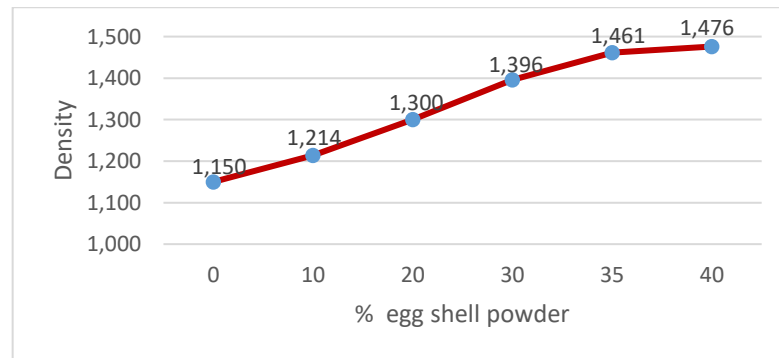


Gambar 4. 4 Pengujian Massa Jenis *Core Material*

Pada tabel perhitungan densitas diketahui bahwa berat jenis *Unsaturated Polyester Resin* adalah 1150 kg/m^3 , dengan penambahan campuran serbuk cangkang telur pada *core* nilai densitas *core* semakin meningkat. Pada penelitian ini nilai densitas terbesar adalah pada variasi campuran 40% yang memiliki nilai 1476 kg/m^3 . Hasil perhitungan nilai densitas terlihat pada Tabel 4. 2 dan Gambar 4. 5.

Tabel 4. 2 Tabel Rekapitulasi Nilai Densitas

NO	% CAMPURAN CORE		DENSITAS (g/cm^3)
	RESIN 157 %	TELUR %	
1	100	0	1,150
2	90	10	1,214
3	80	20	1,300
4	70	30	1,396
5	65	35	1,461
6	60	40	1,476



Gambar 4. 5 Grafik Nilai Densitas *Core* Cangkang Telur

4.3.1 Pengujian Tarik *Core Material*

Pengujian tarik menggunakan UTM (*Universal Testing Machine*) yaitu sebuah mesin pengujian untuk menguji tegangan tarik dan kekuatan tekan bahan atau material. Standardisasi pengujian tarik mengacu pada ASTM D638. Jumlah Spesimen yang diuji minimal 5 buah dengan bentuk spesimen seperti pada Gambar 4. 6.



Gambar 4. 6 Spesimen Sebelum Dilakukan Uji tarik

Cara kerja UTM adalah dengan memberikan gaya tekan atau gaya tarik kepada terhadap bahan yang diujikan. Pada pengujian tarik spesimen dijepit pada kedua ujungnya kemudian diberi beban. Mesin UTM merekam data beban yang diberikan dan perpanjangan yang terjadi hingga material uji patah. Pada percobaan awal spesimen uji mengalami patahan pada ujung tempat titik penjepit seperti terlihat pada Gambar 4. 7.



Gambar 4. 7 Patahan Terjadi Pada Ujung Spesimen

Sesuai standard ASTM D683, patahan spesimen uji disyaratkan terjadi pada daerah G atau tengah. Material *core* ini bersifat getas yang nilai kuat tariknya lebih besar daripada kuat tekan, penambahan kertas gosok tebal dengan tingkat kekasaran 1 pada ujung material dengan maksud mengurani besaran beban tekan alat uji seperti terlihat pada Gambar 4. 8.



Gambar 4. 8 Penambahan Kertas Gosok pada Ujung Spesimen Uji Tarik

Hasil uji tarik dengan dilapisi kertas gosok dapat diaplikasikan pada spesimen sehingga patahan terjadi di daerah G seperti tampak pada Gambar 4. 9.

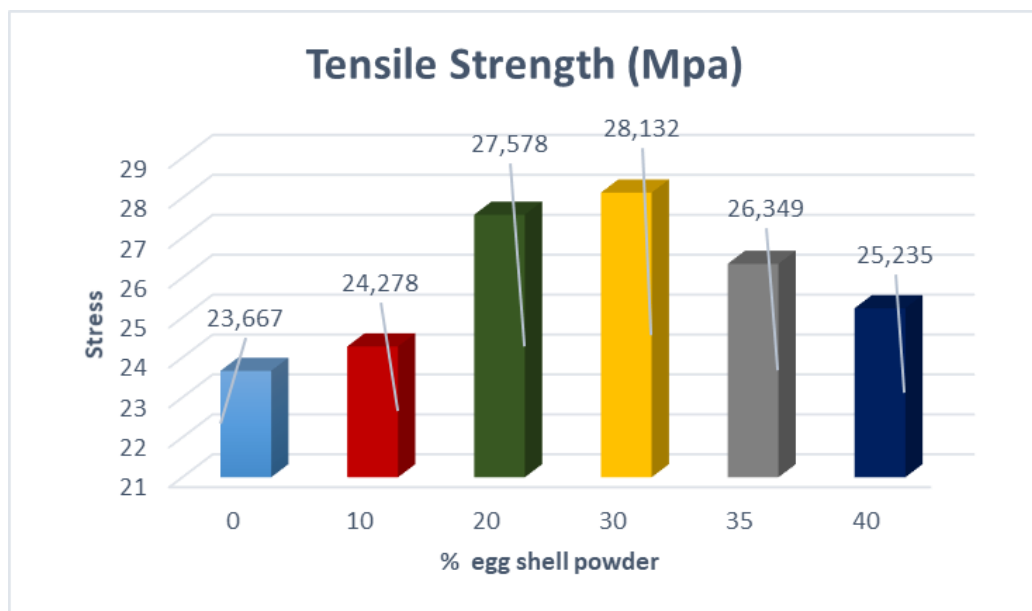


Gambar 4. 9 Spesimen *Core Sandwich* setelah Uji Tarik

Berdasarkan hasil pengamatan, patahan yang terjadi tegak lurus dengan arah tegangan tarik. Terlihat pada Gambar 4. 9, bentuk patahan juga tidak terlihat adanya penambahan panjang atau reduksi luas penampang. Hal ini menunjukkan bahwa benda uji yang diteliti bersifat getas atau *brittle*.

4.3.1.1 *Tensile Strength* (Mpa)

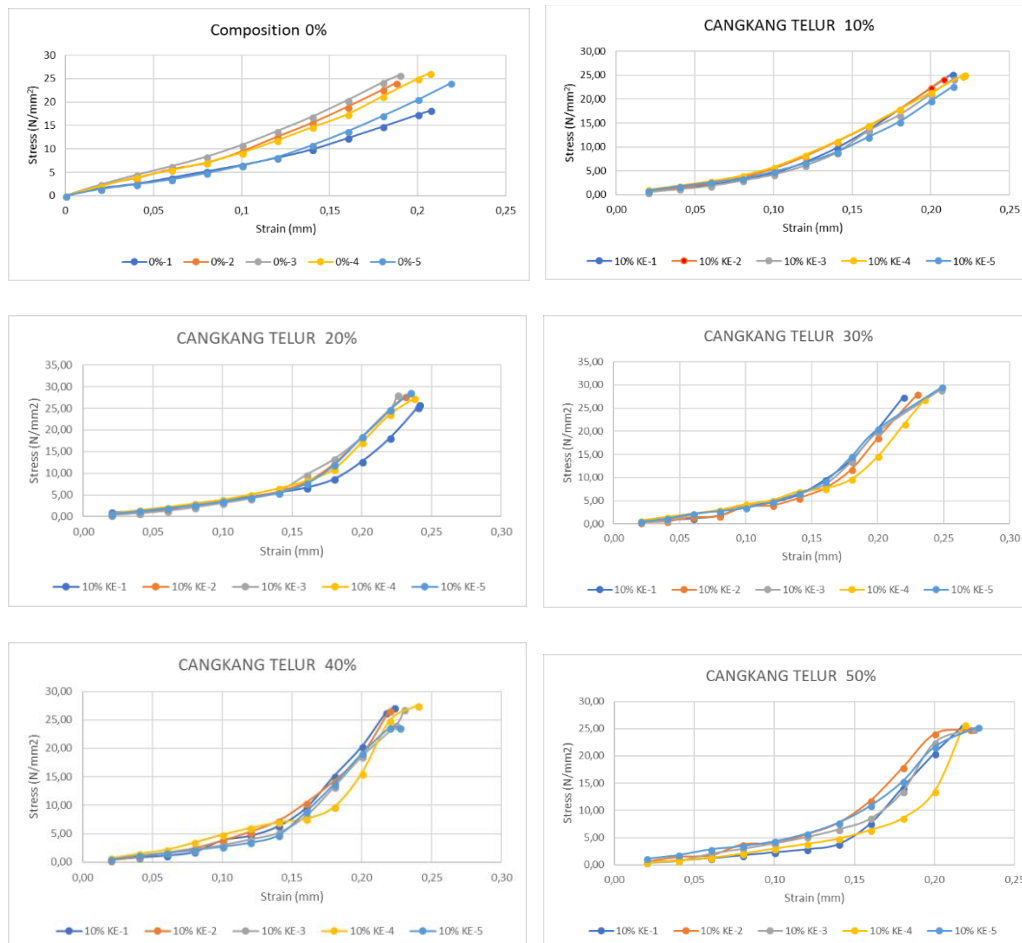
Hasil pengujian tarik ditunjukkan pada Gambar 4. 10.



Gambar 4. 10 *Tensile Strength Of Core Sandwich Panel*

Standard Lloyd's Register menyatakan besaran minimum kuat tarik *core material* ≥ 20 MPa pada temperatur ruangan, sehingga dapat disimpulkan ke 6

variasi campuran *core* memenuhi persyaratan LR. Nilai *tensile strength core material* tanpa campuran serbuk cangkang telur 23,667 Mpa, nilainya meningkat dengan ditambahkan campuran serbuk cangkang telur. Nilai terbesar *tensile strength* 28,132 Mpa pada komposisi 30% campuran cangkang telur. Pada komposisi campuran 35 % dan 40 % besar kuat tarik material cenderung menurun.

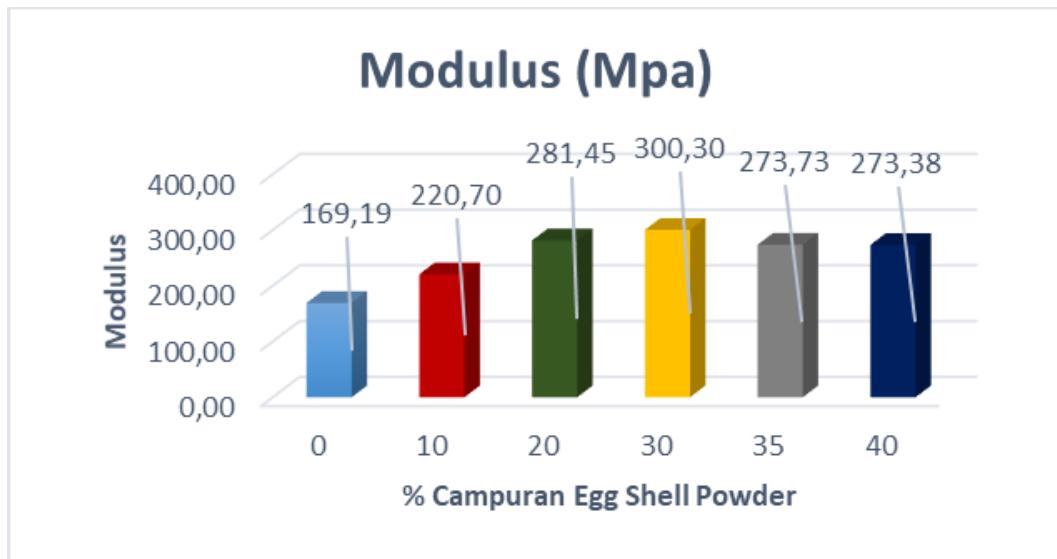


Gambar 4. 11 Diagram *Stress Strain*

Gambar 4. 11 adalah diagram *stress strain* dari masing masing komposisi campuran.

Semakin tinggi nilai *stress* maka kuat tarik material semakin baik. Semakin tinggi nilai strain maka material semakin lentur, dan kemiringan grafik berpengaruh kepada nilai *elongation*.

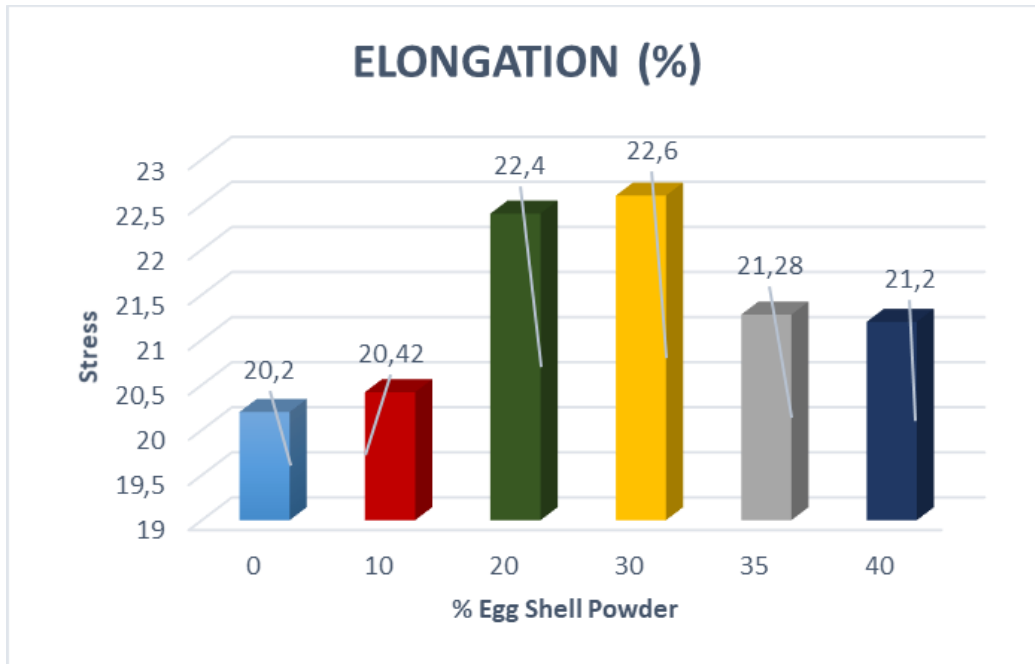
4.3.1.2 Modulus Elastisitas (Mpa)



Gambar 4. 12 Grafik Modulus Elastisitas *Core Material*

Menurut standard, disebutkan bahwa besaran minimum modulus elastisitas ≥ 200 MPa pada temperatur ruangan. Benda yang bersifat *brittle*/mudah pecah memiliki nilai modulus elastisitas yang rendah, sebaliknya semakin besar nilai modulus elastisitas maka semakin bersifat *ductile* / elastis suatu material. Berdasarkan pengujian diketahui nilai modulus elastisitas *core* tanpa campuran serbuk cangkang telur adalah 169,19. Pada Gambar 4. 12 dapat dilihat bahwa modulus terbesar ada pada komposisi 30% campuran serbuk cangkang telur dengan nilai 300,30 Mpa. Nilai modulus elastisitas semakin menurun pada campuran 40% hingga 273,38, sehingga dengan penambahan serbuk cangkang telur pada material inti akan menjadikan material tersebut lebih kaku, dan besaran nilai modulus elastisitasnya meningkat. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan serbuk cangkang telur mampu mereduksi bentuk kerusakan berupa kepecahan pada *synthetic resin*.

4.3.1.3 Elongation (%)

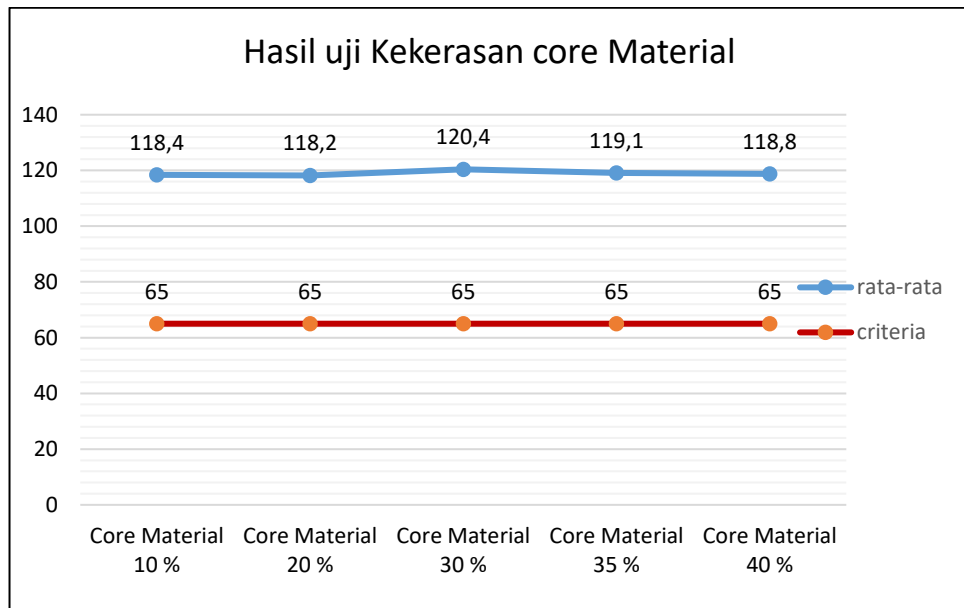


Gambar 4. 13 Grafik *Elongation at Break*

Menurut standard Lloyd Register disebutkan bahwa besaran minimum *elongation at break material core sandwich* adalah $\geq 20\%$. Pada Gambar 4. 13 diketahui bahwa semua variasi campuran *core* memenuhi nilai standard LR. Sama halnya dengan nilai kuat tarik dan modulus, penambahan serbuk cangkang telur juga meningkatkan nilai *elongation*. Pada campuran 0%, 10 %, 20% nilai *elongation* meningkat dari 20,2 %, 20,42%, 22,4% dan nilai tertinggi *elongation* pada campuran 30% sebesar 22,6 %. Pada penambahan 35% dan 40% nilai *elongation* kembali turun 21,28% dan 21,2%.

4.3.1.4 Pengujian Kekerasan Material

Pada standard Lloyd's Register pengujian kekerasan material mengacu pada standarisasi DIN 53505. Nilai kekerasan material *core* minimum yang disyaratkan >65 . Uji kekerasan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan durometer. Jenis material kombinasi *Unsaturated Polyester Resin* dengan serbuk cangkang telur dikategorikan pada material plastik sehingga menggunakan durometer Shore D. Hasil kekerasan material pada masing masing variasi campuran dapat dilihat pada Gambar 4. 14 dimana keseluruhan variasi memenuhi standard.



Gambar 4. 14 Grafik Uji Kekerasan *Core Material*

4.3.2 Pengujian Tekan (*Compressive Test*)

Pengujian tekan atau *compressive test* dilakukan untuk mengetahui kekuatan inti dalam menerima beban tekan yang mengacu standar ASTM D695. Hasil pengujian tekan ini dapat dilihat pada Tabel 4.3 Nilai Rata-Rata *Compressive*

Tabel 4.3 Nilai Rata-Rata *Compressive*

No	Variasi Campuran	Rata- rata <i>Compressive</i> (N/mm ²)
1	10%	84,32
2	20%	86,01
3	30%	88,36

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serbuk cangkang telur pada *core material* meningkatkan nilai kekuatan tekan. Pada persentase campuran 10% nilai *compressive strength* sebesar 84,32 N/mm², meningkat pada persentase campuran 20% dengan kekuatan tekan sebesar 86,01 N/mm² dan meningkat lagi pada campuran 30% dengan kekuatan tekan sebesar 88,36 N/mm².

4.4 Pemilihan Komposisi campuran *Core Sandwich*

Setelah dilakukan identifikasi karakteristik dari *core Sandwich* dengan melakukan beberapa macam pengujian yang semuanya mengacu pada standard Lloyd's Register, dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan penambahan material cangkang telur pada material inti memberikan dampak positif dan negatif. Dampak positif yang terjadi yaitu meningkatkan nilai kuat Tarik, nilai Modulus Elastisitas, dan nilai *elongation*. Dampak negatif yang dihasilkan yaitu penambahan nilai densitas sehingga menambah berat dari material. Rekapitulasi hasil identifikasi material dapat dilihat pada Tabel 4. 4 Rekapitulasi Identifikasi *Core Sandwich*

Tabel 4. 4 Rekapitulasi Identifikasi *Core Sandwich*

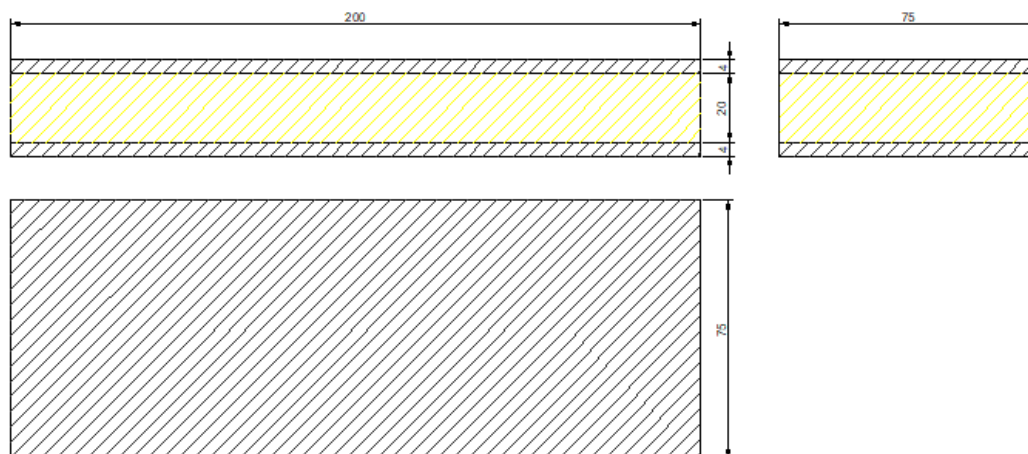
NO	% CAMPURAN CORE	DENSITAS (g/cm ³)	LR Standard	STRESS (Mpa/Nmm ⁻²)	LR ≥ 20	MODULUS ELASTISITAS	LR Standard	Elongation (%)	LR Standard
			>1000 (g/cm ³)		(Mpa/Nmm ⁻²)		>200 Mpa		> 20 %
1	0	1,150	√	23,667	√	169,19		20,20	√
2	10	1,214	√	24,278	√	220,70	√	20,42	√
3	20	1,300	√	27,578	√	281,45	√	22,40	√
4	30	1,396	√	28,132	√	300,30	√	22,60	√
5	35	1,461	√	26,349	√	273,73	√	21,28	√
6	40	1,476	√	25,235	√	273,38	√	21,20	√

Nilai tertinggi untuk Kuat Tarik, Modulus dan Elongation ada pada campuran 30% dan nilai tertinggi kedua terdapat pada campuran 20%. Mempertimbangkan tujuan awal dilakukan inovasi material *sandwich* sebagai pengganti konstruksi konvensional dengan tujuan pengurangan berat konstruksi, maka untuk pengujian mengurangi *sandwich* panel selanjutnya dipilih 2 variasi , yaitu campuran 20 % dan 30%.

4.5 Perhitungan Tebal Pelat (*face plate*) pada Material *Sandwich*

Pada penelitian ini, material *sandwich* disimulasikan dan diaplikasikan pada kapal *container* 100 Teus yang dioperasikan perusahaan pelayaran nasional Indonesia sebagai penugasan negara yaitu Tol Laut. Ditentukan penulis, konstruksi konvensional yang akan digantikan yaitu pada geladak cuaca. Sesuai dengan rumusan perhitungan pada Lloyd's Register, maka tebal *sandwich* yang dipakai untuk *face plate* direncanakan mempunyai ketebalan 4mm dan untuk *core material* 20mm. Selengkapny perhitungan tebal pelat sesuai standard LR dapat dilihat pada

lampiran IV perhitungan. Gambar 4. 15 Ukuran Spesimen Sandwich menunjukkan ukuran spesimen *sandwich panel* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4. 15 Ukuran Spesimen Sandwich dalam mm

4.6 Analisa Hasil Identifikasi Material *Sandwich Panel*

Identifikasi material *sandwich panel* telah mengerucut pada dua variasi campuran *core*, yaitu 20% dan 30% campuran material cangkang telur. Material *sandwich panel* ini tersusun dari dua jenis material yang memiliki sifat berbeda yaitu besi sebagai *face plate* dan *core* dengan komposisi *Unsaturated Polyester Resin* + Serbuk cangkang telur + katalis. Kombinasi sifat yang berbeda dari material tentu akan menghasilkan nilai kekuatan baru yang berbeda. Identifikasi material *sandwich* dilakukan untuk mengetahui dampak penggabungan material akan memberikan dampak positif bahkan sebaliknya.

4.6.1 Identifikasi Massa Jenis *Sandwich Panel*

Besaran nilai densitas material *sandwich* didapatkan dari pembagian berat *sandwich panel* dengan volume *sandwich panel*. Nilai densitas *sandwich panel* dengan persentase campuran 20% adalah 3195,963 kg/m³ dan pada persentase campuran 30% memiliki massa jenis 3214,187 kg/m³. Semakin banyak campuran serbuk cangkang telur pada material semakin tinggi nilai densitas *sandwich*. Hasil identifikasi massa jenis *sandwich panel* dapat dilihat pada Tabel 4. 5.

Tabel 4. 5 Hasil Massa Jenis *Sandwich Panel*

Komposisi	<i>Sandwich</i> (Kg/m ³)	Besi (Kg/m ³)	Pengurangan Densitas %
20%	3195,963	7850	59,3 %
30%	3278,187	7850	58,2%

Konstruksi konvensional umumnya menggunakan material besi. Material besi memiliki nilai densitas 7850 kg/m³ sedangkan nilai densitas dari material *sandwich* jauh lebih kecil daripada massa jenis besi, yaitu 3196 kg/m³ untuk campuran 20% dan 3278 untuk campuran 30%. Pada Tabel 4. 5 dapat dilihat pengurangan nilai densitas pada campuran 20% sebanyak 59,3 % dan pada campuran 30% pengurangan densitas sebanyak 58,2 %. Pengurangan densitas yang cukup signifikan dikarenakan volume pembagi pada material *sandwich* lebih besar.

Pada penelitian ini disimulasikan penggunaan material *sandwich* menggantikan plat geladak dengan ketebalan 10 mm. Perbandingan berat pelat yang akan digantikan tiap meter persegi dapat dilihat pada Tabel 4. 6.

Tabel 4. 6 Perbandingan Berat Besi dan Material *Sandwich*

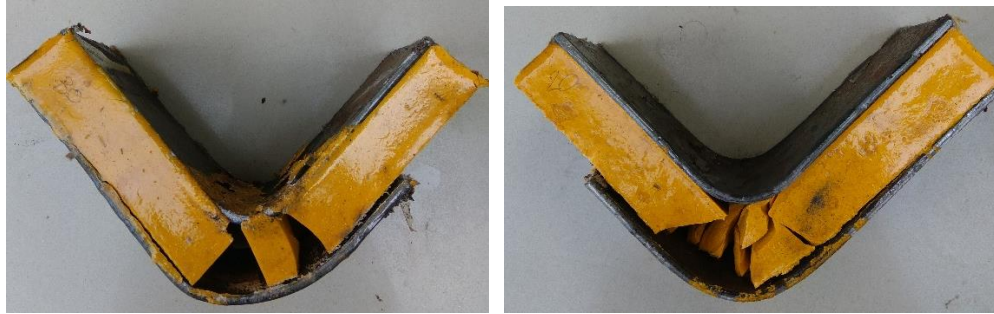
Material	Densitas	P(m)	L(m)	T(m)	Volume	Berat (KG)
BESI	7850	1	1	0,01	0,01	78,50
SANDWICH	3196	1	1	0,028	0,028	89,49

Pada Tabel 4. 6 dapat dilihat bahwa berat material *sandwich* tiap meter persegi lebih berat, sehingga dapat disimpulkan bahwa pengurangan berat yang terjadi pada penerapan material *sandwich* bukan karena penggantian material *sandwich*, melainkan pada struktur konstruksi yang mengalami perubahan/pengurangan penguat/penegar namun masih memenuhi nilai keamanan dari konstruksi sesuai persyaratan *class*.

4.6.2 Pengujian Lentur (*Flexural Test*) *Sandwich Panel*

Pengujian lentur dilakukan untuk mendapatkan nilai kekuatan suatu material dalam menerima beban secara vertikal hingga material tersebut tidak dapat kembali pada posisi semula atau hingga material tersebut mengalami kerusakan. Pada material *sandwich panel* pengujian lentur dilakukan untuk mengetahui

kekuatan yang pada material tersebut hingga material inti mengalami kerusakan dan material *faceplate* tidak dapat kembali pada bentuk awalnya. Hasil Pengujian Lentur selengkapnya ada pada lampiran



Gambar 4. 16 Hasil Uji Lentur Pada Spesimen *Sandwich*

Berdasarkan hasil pengujian bending sebagaimana terlihat pada Gambar 4. 16 diperoleh nilai *stress* pada material *sandwich* dengan variasi *core* 20% memiliki nilai tertinggi 102,549 N/mm² dan material *sandwich* dengan variasi *core* 30% memiliki nilai tertinggi 108,681 N/mm². Hasil pengujian lentur dapat dilihat pada Tabel 4. 7, dengan nilai tertinggi dengan variasi *core* 30% lebih besar daripada variasi *core* 20% dan dapat disimpulkan material *sandwich* dengan variasi *core* 30 % lebih kuat daripada variasi *core* 20%.

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Lentur *Sandwich*

Persentase	<i>Max Force</i> (N)	<i>Max Stress</i> (N/mm ²)
20%	16081	90,457
30%	16900	95,063

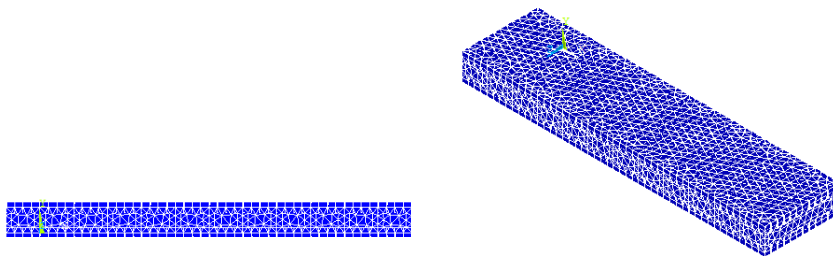
4.6.3 Identifikasi Respon Getaran *Sandwich Panel*

Pada tahap ini dilakukan beberapa proses penelitian terkait *modal analysis* untuk material *sandwich panel* dengan kondisi utuh dan rusak. Analisa yang pertama menggunakan metode pemodelan, dengan hasil dari pemodelan tersebut menjadi sarana informasi dalam mengidentifikasi hasil pengujian berikutnya, yaitu pengujian eksperimental material *sandwich panel* seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

4.6.4 Pemodelan *Sandwich Panel*

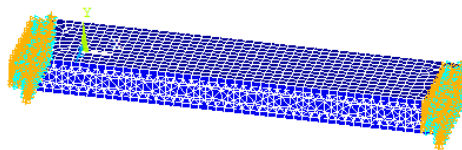
Analisa menggunakan analisa pemodelan dilakukan selain sebagai referensi dalam proses verifikasi hasil ekperimental. Pada percobaan ini, *mode* getaran yang diidentifikasi hanya *mode* ke-1. Hal ini dilakukan sebagai pembantu dalam proses identifikasi frekuensi natural dan sebagai verifikasi hasil frekuensi natural yang didapat dalam pengujian ekperimental *sandwich panel*.

Bentuk *mode* getaran yang terjadi pada spesimen uji, pada *mode* ke-1 memiliki satu gelombang dengan arah memanjang pada benda. Gambar 4. 17 merupakan pemodelan *sandwich panel* dengan dimensi 240 mm x 60 mm.



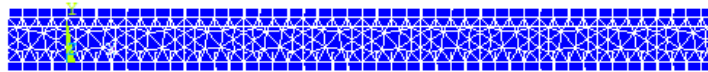
Gambar 4. 17 Pemodelan Spesimen Uji 4 Getaran Pada *Software*

Kondisi pada pemodelan *modal analysis* yang dilakukan adalah kondisi jepit pada ujung dari spesimen panel. Hal ini diberikan karena disesuaikan dengan kondisi pada saat melakukan pengujian. Pada Gambar 4. 18 dapat dilihat kondisi batas pada kedua ujung spesimen.



Gambar 4. 18 Kondisi Batas Pada Model

Dalam pemodelan pada *finite element software*, model spesimen dimodelkan dengan kondisi utuh seperti pada saat pengujian. Gambar 4. 19 menunjukkan model dengan kondisi utuh.



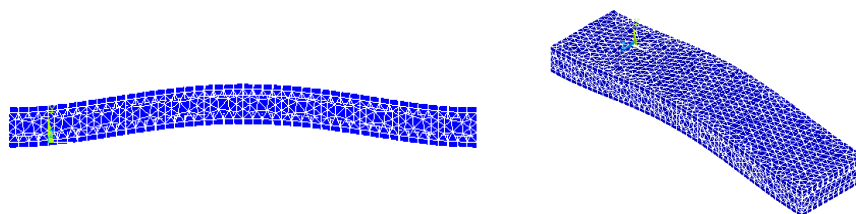
Gambar 4. 19 Spesimen Kondisi Utuh

Selain pada kondisi utuh yang telah digambarkan pada Gambar 4. 19, model selanjutnya akan dirusak sesuai kondisi pangujian. Ukuran dari cacat yang dibuat adalah tembus pada ujung *core* dimana lebar dari lubang yang dibuat adalah 8mm. Terlihat pada Gambar 4. 20 model spesimen yang telah diberi cacat atau kerusakan pada *core*.



Gambar 4. 20 Spesimen Kondisi Rusak

Sebelum melakukan proses pengolahan data atau proses *running*, *material properties* harus disesuaikan dengan data hasil pengujian yang telah dilakukan seperti data modulus elastisitas, massa jenis dan *poisson ratio*. Di dalam proses *running* terdapat satu langkah yang sangat penting dilakukan, yaitu pengujian konvergensi. Dalam literatur disebutkan bahwa akurasi solusi elemen hingga semakin meningkat dengan semakin banyaknya elemen yang digunakan, akan tetapi dengan semakin banyaknya elemen yang digunakan maka waktu yang dibutuhkan untuk komputasi juga semakin besar. Gambar 4. 21 menunjukkan frekuensi natural pada spesimen yang digunakan.



Gambar 4. 21 Frekuensi Natural pada Spesimen

Hasil dari pengujian dengan *finite element analysis software* dapat dilihat pada Tabel 4.8 Hasil Uji Numerik *Sandwich* dengan hasil pada numerik yang

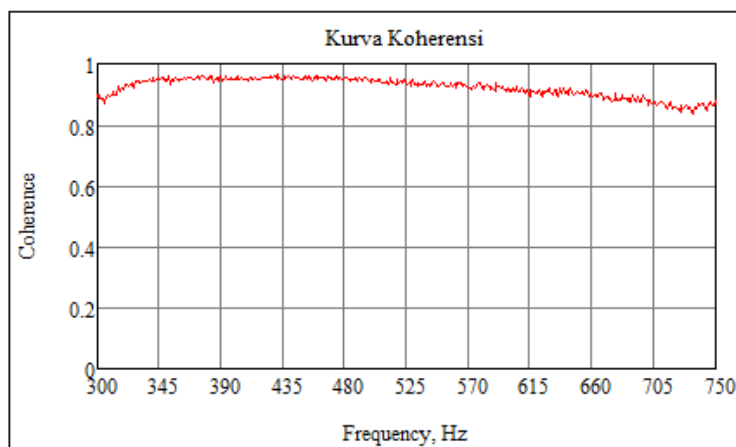
menunjukkan perbedaan frekuensi natural antara *sandwich* utuh dengan cacat. *Sandwich* dengan kondisi utuh lebih besar daripada *sandwich* dengan kondisi cacat. *Sandwich* dengan persentase *filler* 20% memiliki frekuensi natural lebih rendah daripada 30%.

Tabel 4.8 Hasil Uji Numerik *Sandwich*

PERSENTASE	20%	30%
<i>Sandwich</i> Utuh	502,12 Hz	457,46 Hz
<i>Sandwich</i> Cacat	457,49.488	446,37 Hz

4.6.5 Nilai Koherensi *Sandwich Panel Utuh*

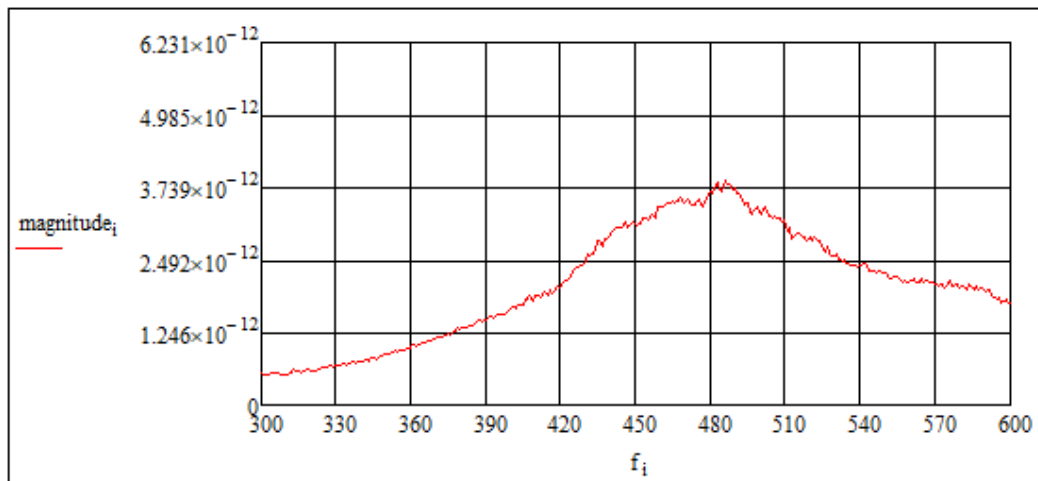
Pada penentuan *modal analysis* diperlukan analisa nilai koherensi untuk mengetahui kualitas dan kuantitas data yang diperoleh dari hasil pengujian. Pada penjelasan sebelumnya telah dijelaskan bawasannya nilai koherensi memiliki skala 0 hingga 1, dengan nilai 1 pada grafik koherensi melambangkan data hasil pengujian antara data input dan output semakin linier atau sama. Nilai koherensi yang mendekati angka 0 menyatakan bahwa banyak *noise* yang terdeteksi pada saat melakukan pengujian atau pengolahan data yang kurang tepat. Hasil secara keseluruhan mendekati nilai seperti pada Gambar 4. 22, menunjukkan bahwa keseluruhan data yang diambil dan diolah sudah relevan dan mampu digunakan dalam proses analis, serta tidak perlu dilakukan pengambilan data maupun pengolahan data ulang.



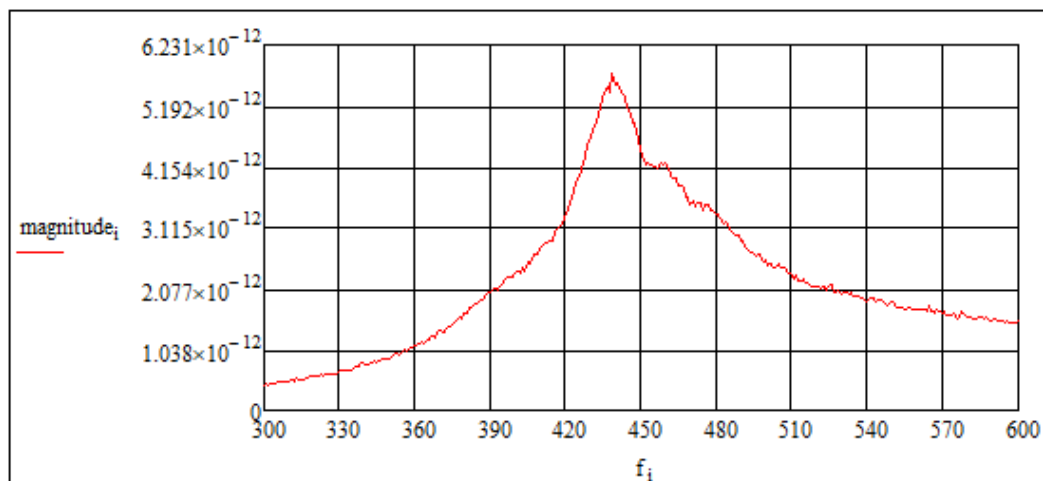
Gambar 4. 22 Gambar Kurva Koherensi pada Matcath

4.6.6 Perbandingan Hasil Analisis dan Eksperimen *Sandwich Panel* Kondisi Utuh

Pengambilan data pada saat pengujian getaran ini sesuai ilustrasi titik eksitasi pada material uji seperti yang diterangkan pada bab sebelumnya, dimana dilakukan tiga titik eksitasi (*hammer*) dan 6 titik *accelerometer*. Setiap titik pengambilan data dilakukan minimum 16 kali pemukulan sehingga menghasilkan 16 data spektrum getaran dalam *time domain*. Gambar 4. 23 merupakan contoh hasil pengolahan data pada pengujian getaran setelah diolah dengan *Fourier Transform* sehingga data yang diperoleh berupa frekuensi domain.



(a)



(b)

Gambar 4. 23 (a) Frekuensi Domain 20% dan (b) Frekuensi Domain 30%

Proses verifikasi hasil merupakan proses membandingkan kedua hasil pengujian antara analisa numerik dengan ekperimental. Hasil ekperimental merupakan *variable control* dari proses verifikasi ini, karena hasil ekperimental merupakan hasil yang berasal dari keadaan sesungguhnya, bukan keadaan ideal dari hasil analisa pemodelan. Hasil dari perbandingan antara analisa numerik dengan ekperimental dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perbandingan Numerik dan Experimen pada *Sandwich* Kondisi Utuh

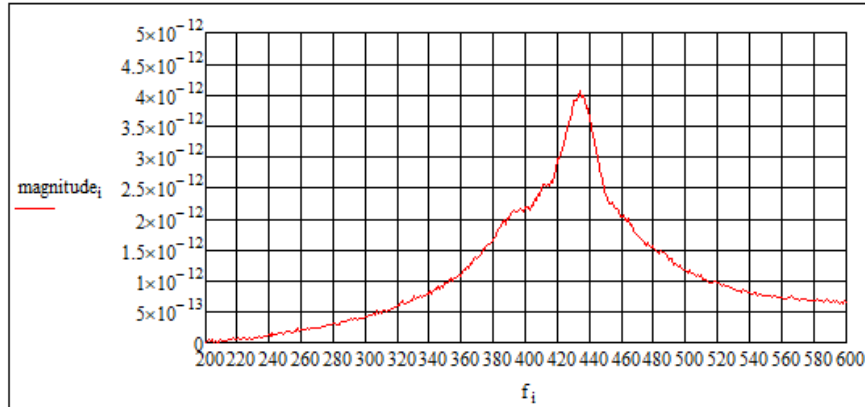
PERSENTASE CAMPURAN	20%	30%
Eksperimen	487.5	443.71
Numerik	502.125	457.465
Perbedaan	3%	3%

Sebagaimana Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa hasil eksperimen maupun numerik untuk *sandwich* dengan persentase 20% dan 30% memiliki perbedaan frekuensi natural. Pada campuran 20% frekuensi natural yang dimiliki yaitu 487Hz dan pada campuran 30% memiliki frekuensi natural 556 Hz, ini menandakan bahwa dengan bertambahnya *filler* pada *sandwich* maka membuat frekuensi natural menjadi meningkat. Peningkatan frekuensi natural ini disebabkan karena kekakuan dari material, ini membuktikan bahwa semakin besar nilai modulus elastisitas semakin besar pula nilai frekuensi natural yang dimiliki.

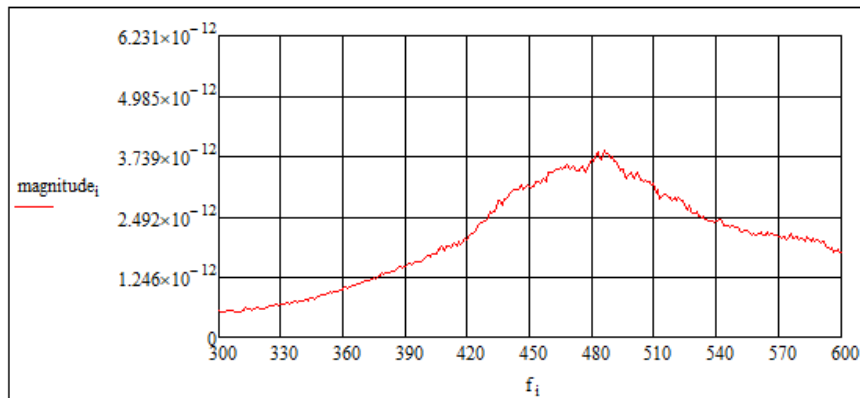
4.6.7 Perbandingan Hasil Analisis dan Eksperimen *Sandwich Panel* Kondisi Cacat

Pengambilan data pada saat pengujian getaran ini sesuai ilustrasi titik eksitasi pada material uji seperti yang diterangkan pada bab sebelumnya, dimana dilakukan tiga titik eksitasi (*hammer*) dan 6 titik *accelerometer*. Setiap titik pengambilan data dilakukan minimum 16 kali pemukulan sehingga menghasilkan 16 data spektrum getaran dalam *time domain*. Data hasil pemukulan dipilih lagi sebanyak 6 data terbaik untuk kemudian diolah dengan *software* Mathcad. Kategori data yang baik dalam proses pemilihan adalah jika sinyal yang diterima oleh *software analyzer* tidak mengalami *overload* baik dari *hammer* maupun *accelerometer*. Gambar 4. 24 merupakan contoh hasil pengolahan data pada

pengujian getaran setelah diolah dengan *Fourier Transform* sehingga data yang diperoleh berupa frekuensi domain.



(a)



(b)

Gambar 4. 24 Hasil Pengujian Getaran Kondisi Cacat (a) 20%, (b) 30%

Proses verifikasi selanjutnya dilakukan pada material *sandwich panel* yang telah diberikan cacat pada *core*. Hasil pengujian numerik dan eksperimen dapat dilihat pada Tabel 4 10.

Tabel 4 10 Perbandingan Numerik dan Experimen pada *Sandwich* Kondisi Cacat

PERSENTASE CAMPURAN	20%	30%
Eksperimen	439,9	429,2
Numerik	457.5	446.37
Perbedaan	4%	3%

Pada Tabel 4 10 dapat dilihat hasil antara pengujian numerik dengan eksperimen. Pengujian eksperimen dan numerik memiliki perbedaan hasil sekitar 4%. Pada

campuran 20% dan memiliki nilai frekuensi natural sebesar 457,5 Hz, dan pada campuran 30% memiliki nilai frekuensi natural sebesar 446,37 Hz. Perbedaan yang dihasilkan dikarenakan kekakuan pada material yang diuji, semakin tinggi nilai modulus elastisitas maka semakin tinggi pula nilai frekuensi natural yang dimiliki.

4.6.8 Hasil dan Analisa *Damping Ratio Sandwich Panel*

Karakteristik dinamis lainnya yang perlu diidentifikasi pada pengujian ini adalah *damping ratio*, yaitu kemampuan material dalam meredam suatu getaran. Identifikasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan material dengan perbedaan komposisi pada *core* mampu meredam suatu getaran. Berikut nilai *damping ratio* dari material *sandwich panel* pada kondisi utuh.

Tabel 4.11 Hasil *Damping Ratio*

Damping Ratio	Core materia	Posisi acc	ζ_r (%)
Utuh	20	E	7.252
	30	E	5.578
Cacat	20	E	6.430
	30	E	4.942

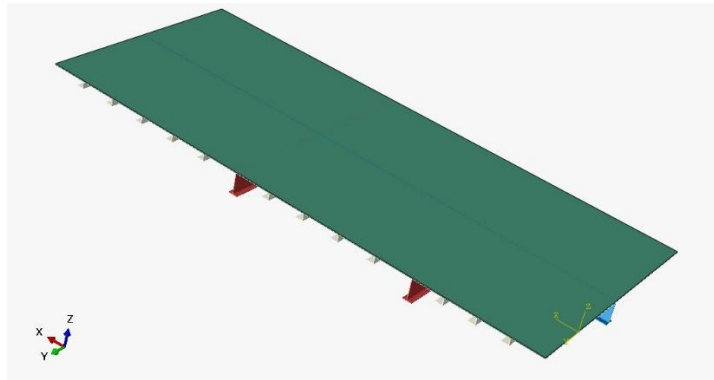
Pada Tabel 4.11 dapat dilihat nilai yang dihasilkan di bawah nilai 1. *Damping ratio* antara material dengan *filler* 20% dan 30 % memiliki perbedaan, dimana material dengan *filler* 30% lebih tinggi daripada 20%. Kondisi utuh dan tidak utuh juga memiliki *damping ratio* yang berbeda. Nilai terbaik untuk *damping ratio* adalah 1, sehingga nilai *damping ratio* yang mendekati nilai 1 maka semakin bagus material tersebut dalam meredam getaran. *Damping ratio* yang lebih besar menyebabkan amplitudo yang terjadi pada suatu struktur yang terkena getaran menjadi lebih kecil. Amplitudo yang kecil, maka umur material akan semakin panjang. Perbedaan angka *damping ratio* terjadi akibat perbedaan komposisi yang mempengaruhi kekakuan pada material *sandwich panel* dan juga kondisi daripada material tersebut.

4.7 Simulasi penggunaan material sandwich pada konstruksi konvensional

Untuk mengetahui pengurangan berat pada penggunaan material sandwich maka pada penelitian ini akan dilakukan simulasi pergantian konstruksi konvensional dengan material sandwich dan sebagai batasan hanya di pilih satu panel saja untuk dinalisa.

4.7.1 Pemodelan pada struktur konstruksi Konvensional

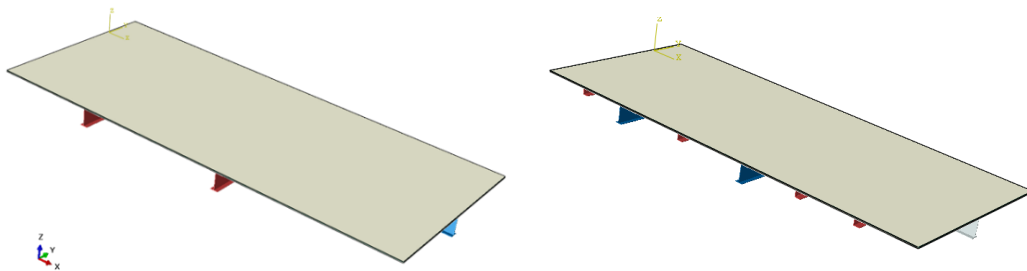
Pemodelan pada konstruksi kapal menggunakan *finite element software*. Panel konstruksi yang dianalisa adalah geladak kapal Toll Laut 100 Teus pada frame 38-41 Port Side, Ukuran panel pada penelitian ini 8600 mm x 3600 mm. Terdapat 4 item dalam konstruksi geladak yang akan dianalisa yaitu Plat geladak, 12 pembujur geladak, 1 balok besar, dan 2 penumpu atas. Hasil pemodelan konstruksi konvensional pada panel geladak dapat dilihat pada Gambar 4. 25.

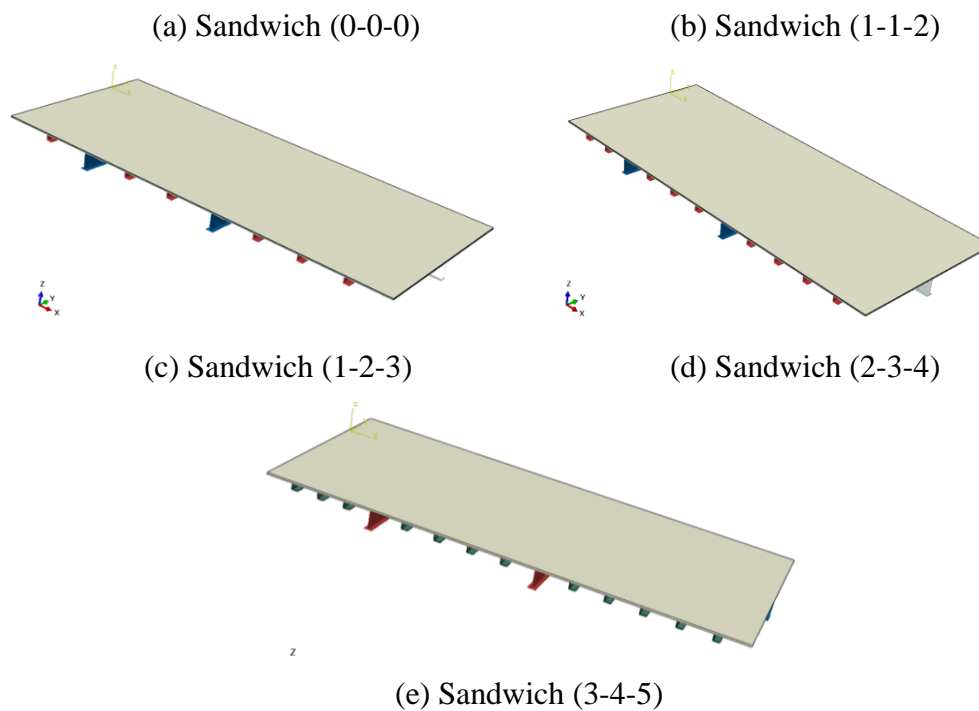


Gambar 4. 25 Konstruksi Geladak Konvensional

4.7.2 Perubahan Konstruksi Menggunakan Material Sandwich

Penggunaan material *sandwich* pada konstruksi bertujuan untuk mengurangi berat. Pada pembahasan sebelumnya diketahui bahwa material *sandwich* lebih berat sehingga dibutuhkan analisa lanjutan dan optimasi perhitungan struktur konstruksi. Pada penelitian ini, pelat geladak yang eksisting dengan material besi akan digantikan dengan menggunakan sandwich material dimana optimasi perubahan konstruksi hanya dilakukan dengan mengurangi pembujur geladak dan merubah jarak pembujur tanpa mengubah ukuran profil. Terdapat 5 variasi konstruksi menggunakan material *sandwich* yang kemudian dilakukan pemodelan pada *finite element* seperti Gambar 4. 26.



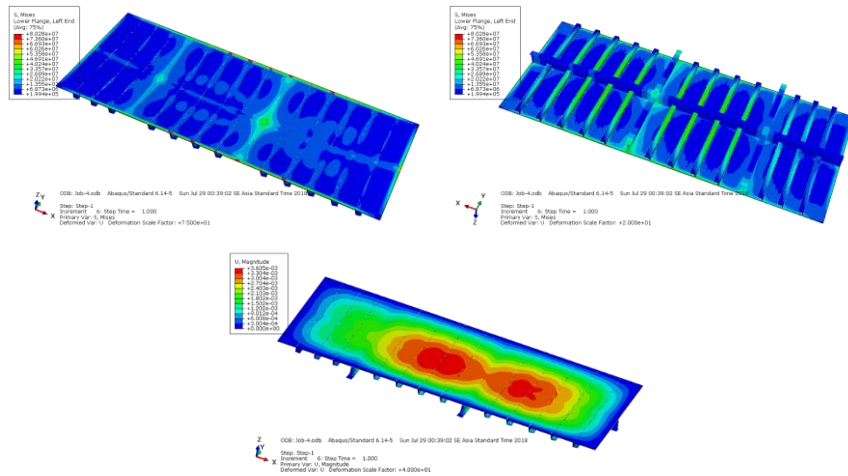


Gambar 4. 26 Pemodelan variasi Simulasi Konstruksi *Sandwich*

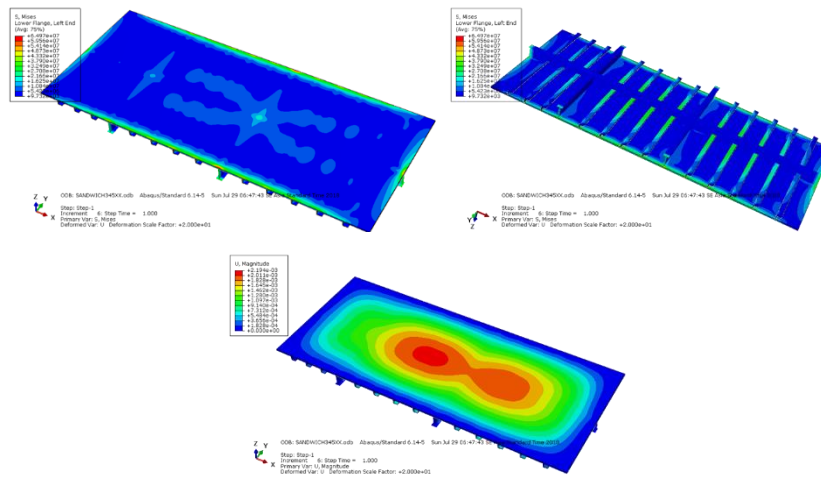
Pada Gambar 4. 26 dapat dilihat bahwa terdapat 5 variasi dimana gambar (a) adalah variasi konstruksi menggunakan material sandwich dengan menghilangkan semua pembujur geladak, hingga pada gambar (e) adalah variasi konstruksi hanya dengan mengganti pelat besi dengan sandwich dengan penegar sama dengan konvensional. Penamaan variasi konstruksi sandwich yang dimodelkan sesuai dengan jumlah pembujur geladak pada konstruksinya.

4.7.3 Pembebanan Variasi Konstruksi Material *Sandwich*

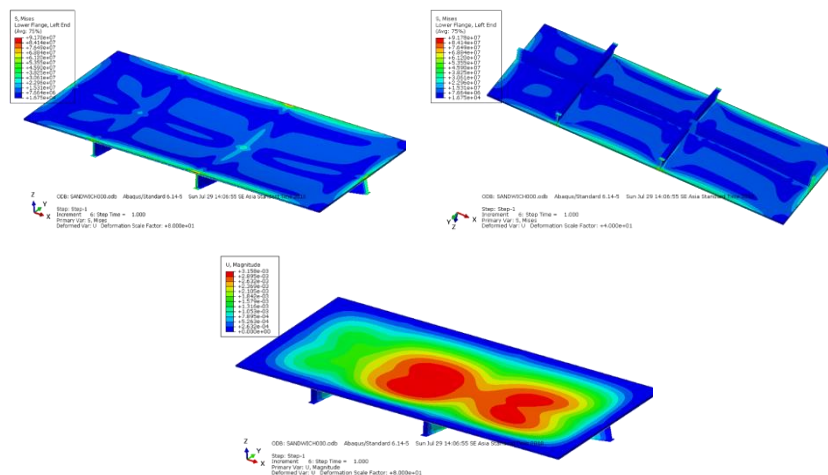
Besaran pembebanan dihitung menggunakan aturan Biro Klasifikasi Indonesia. Besaran beban geladak yang telah dihitung pada lampiran adalah 25,2 N/mm². Pada semua konstruksi baik konvensional maupun variasi sandwich dilakukan pembebanan dengan besaran yang sama. Variasi simulasi pembebanan pada model finite element dapat dilihat pada



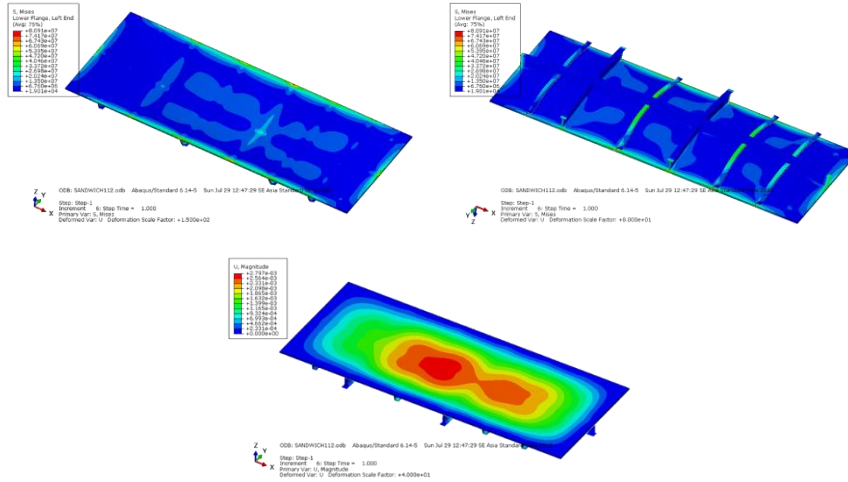
(a) Hasil pembebanan dan Deformasi pada Konstruksi Konvensional



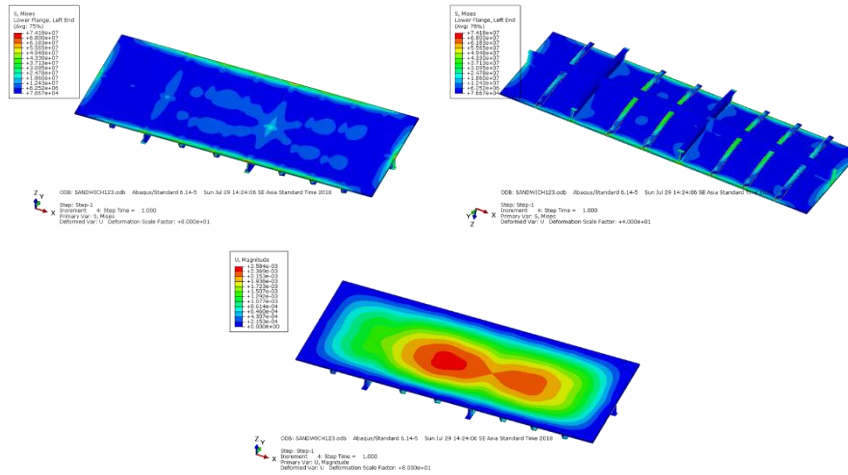
(b) Hasil pembebanan dan Deformasi pada Konstruksi Sandwich (3-4-5)



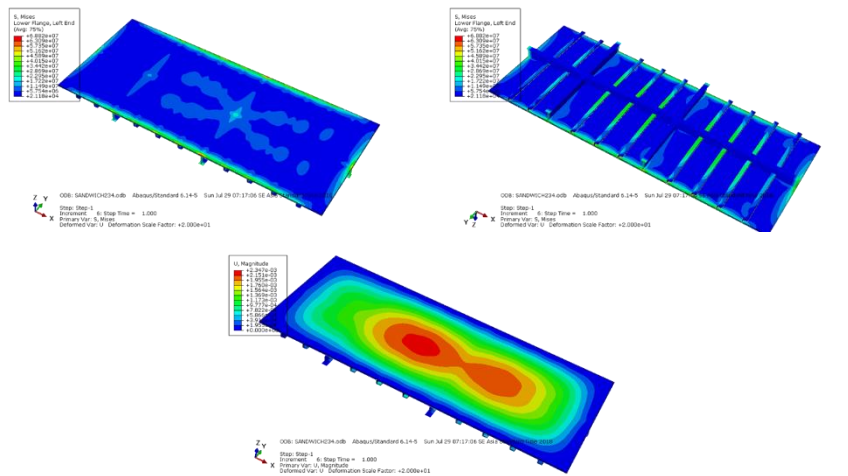
(b) Pembebanan dan Deformasi pada Konstruksi Sandwich (0-0-0)



(c) Pembebanan dan Deformasi pada Konstruksi Sandwich (1-1-2)



(d) Pembebanan dan Deformasi pada Konstruksi Sandwich (1-2-3)



(d) Pembebanan dan Deformasi pada Konstruksi Sandwich (2-3-4)

Gambar 4. 27 Pembebanan dan Deformasi pada variasi pemodelan konstruksi

Hasil analisa finite elemen yang dilakukan pada variasi konstruksi dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Nilai Tegangan Maksimum pada Konstruksi

No	Variasi Konstruksi	Max Stress (MPa)							
		20%				30%			
		MODEL	KONV	VON	SELISIH	MODEL	KONV	VON	SELISIH
1	Konvensional (3-4-5)	80,28	80,28	MISES	0	80,28	80,28	MISES	0
2	Sandwich 0-0-0	93,77	80,28	90,12	-13,49	91,78	80,28	94,89	-11,5
3	Sandwich 1-1-2	80,13	80,28	90,12	0,15	79,89	80,28	94,89	0,39
4	Sandwich 1-2-3	75,29	80,28	90,12	4,99	74,18	80,28	94,89	6,1
5	Sandwich 2-3-4	69,27	80,28	90,12	11,01	68,82	80,28	94,89	11,46
6	Sandwich 3-4-5	65,31	80,28	90,12	14,97	64,97	80,28	94,89	15,31

Dari hasil Analisa finite element didapatkan nilai stress maksimum tiap tiap konstruksi yang akan disandingkan dengan nilai tegangan dari konstruksi konvensional dan perhitungan von mises dari material sandwich. Rumusan tegangan von mises dapat dilihat pada persamaan 4.1 (von mises 1913)

$$\sigma_{vm} = \sqrt{[(\sigma_{xx})^2 + (\sigma_{yy})^2 - (\sigma_{xx}\sigma_{yy})] + 3(\tau_{xy}^2)} \quad (4.1)$$

Dimana :

σ_{xx} = Tegangan Lentur pada sumbu x

σ_{yy} = Tegangan Lentur pada sumbu y

τ_{xy} = Tegangan Geser

Pada Tabel 4.12 dapat dilihat bahwa pada konstruksi konvensional nilai stress dari material sandwich dibandingkan dengan besi lebih rendah.

Sesuai Perhitungan tegangan von mises sandwich pada campuran 20% adalah sebesar 90,12 Mpa dan pada sandwich campuran 30% sebesar 94,89 Mpa. Dari Tabel 4.12 dapat dilihat bahwa pada konstruksi yang sama penggunaan material sandwich memiliki nilai stress/tegangan yang lebih kecil. Terjadi penurunan stress dari 80,28 Mpa menjadi 65,31 Mpa atau sekitar 18,6 persen. Selisih tegangan tersebut yang kita manfaatkan untuk mengurangi jumlah penegar. Dan Pada konstruksi sandwich 1-2-3 memiliki tegangan dibawah tegangan pada konstruksi konvensional.

4.8 Perubahan Berat Konstruksi

Penggunaan sandwich panel yang menggantikan konstruksi konvensional dimodelkan pada optimasi variasi konstruksi yang dilakukan pada *finite element* menghasilkan perubahan berat konstruksi. Diharapkan dengan menggunakan plat sandwich maka terjadi penurunan berat konstruksi, penurunan berat konstruksi bukan karena factor penggantian pelat. Meskipun massa jenis sandwich lebih kecil dari besi pada kenyataannya pada bidang yang sama pelat sandwich lebih berat. Perbandingan berat plat besi dan sandwich dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Perbandingan Berat Plat 10 mm dengan Sandwich 20% & 30%

Geladak (Frame 31-33)	Profil dan Ukuran (m)					DENSITY (Kg/m ³) & BERAT (Kg)			
	Type Profil	PL		FP		Panjang	Besi	Sandwich	
		Tebal		Lebar			7850	20%	30%
ITEM							3196	3278	
Pelat Geladak	PLAT	0,01	0,028	3,60		8,60	2430,36	2770,55	2841,63
Pembujur geladak	L 120 x 120 x 11	0,12	0,01	0,12	0,01	3,60	74,61	-	-
Balok Besar	T 350 x 150 x 9	0,35	0,01	0,15	0,01	8,60	303,80	-	-
Penumpu Atas	T 350 x 150 x 9	0,35	0,01	0,15	0,01	3,60	127,17	-	-
SELISIH BERAT PELAT BESI DAN SANDWICH (%) FRAME								14%	17%

Pada Tabel 4.13 menunjukkan berat material sandwich campuran 20% lebih berat 14% dan material sandwich campuran 30% lebih berat 17%. Sesuai dengan perhitungan berat konstruksi pada Tabel 4 14 disimpulkan bahwa pengurangan berat konstruksi didasarkan pada pengurangan profil konstruksi . Besaran perubahan berat konstruksi dapat dilihat pada Tabel 4 14.

Tabel 4 14 Perubahan Berat Konstruksi

KONSTRUKSI														
KONVENSIONAL (3-4-5)		SANDWICH (3-4-5)		SANDWICH (2-3-4)			SANDWICH (1-2-3)			SANDWICH (1-1-2)		SANDWICH (0-0-0)		
Jumlah	Berat (Kg)	Jumlah	Berat (Kg)		Jumlah	Berat (Kg)		Jumlah	Berat (Kg)		Jumlah	Berat (Kg)		
			20%	30%		20%	30%		20%	30%		20%	30%	
1	3884	1			1			1			1			
12		12	4224	4295,04	9	4000	4071,23	6	3776	3847,41	4	3627	3698,19	
1		1			1			1			1			
2		2			2			2			2			
SELISIH %			8,8%	10,6%		3,0%	4,8%		-2,8%	-0,9%		-6,6%	-4,8%	
													3329	3399,77
													-14,3%	-12,5%

Pada Tabel 4 14 dapat dilihat bahwa konstruksi sandwich (3-4-5) dan konstruksi sandwich (2-3-4) memiliki berat konstruksi lebih tinggi di bandingkan konstruksi konvensional. Pengurangan berat konstruksi tertinggi yang masih memenuhi tegangan ijin dari material sandwich yaitu pada konstruksi sandwich (1-1-2) dengan selisih berat sebesar 6,6% pada campuran 20% dan selisih 4,8% pada campuran 30%

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bersifat eksperimen dengan melakukan pengujian pada material *sandwich*. Pengujian pertama dilakukan pada material pengisi *core*, yaitu serbuk cangkang telur. Pengujian kedua dilakukan pada material inti /*core sandwich*, yaitu campuran *Unsaturated Polyester Resin* dan katalis. Pengujian ketiga dilakukan pada material *sandwich* dengan *face plate* berbahan besi dan *core* berupa kombinasi campuran *Unsaturated Polyester Resin* dan katalis. Selain pengujian, juga dilakukan analisa perhitungan menggunakan finite elemen pada konstruksi konvensional dan material *sandwich*. Berdasarkan analisa hasil eksperimen dan finite element yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan yang menjawab perumusan masalah sebagai berikut:

a. Pengujian Bahan (Serbuk Cangkang Telur)

Pada bahan dilakukan 2 pengujian pada serbuk cangkang telur, yaitu pengujian *grain size distribution* dan pengujian *X-Ray Fluorescence (XRF)*. Hal yang dapat disimpulkan dari hasil pengujian adalah:

1. Hanya serbuk cangkang telur yang lolos mesh 50 yang dipakai pada penelitian ini.
2. Cangkang telur yang telah digiling masih menghasilkan material yang kasar. Hal tersebut berdasarkan hasil pengujian *grain size distribution*, hanya 12,365 % yang lolos dengan ukuran ayakan mesh 50, sehingga harus dilakukan penghalusan kembali dengan menggunakan *blender*.
3. Serbuk cangkang telur yang dikarbonisasi memiliki komposisi terbesar, yaitu kalsium oksida sebanyak 99,35%.

b. Pengujian Material Inti (*core material*).

Terdapat empat pengujian untuk mengetahui karakteristik pada *core material*, yaitu pengujian Densitas, Pengujian Tarik, Pengujian Tekan, dan Pengujian

kekerasan. Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dilakukan beberapa variasi campuran untuk mengetahui dampak campuran. Campuran didasarkan pada prosentase berat. Pada penelitian ini ditetapkan 6 variasi berat campuran serbuk cangkang telur 0%, 10% , 20% , 30%, 35%, dan 45%.
2. Berdasarkan pengujian densitas/massa jenis, didapatkan bahwa semakin banyak prosentase campuran serbuk cangkang telur maka semakin tinggi densitas dari *core material*. Nilai densitas terkecil pada 0% sebesar 1,150 Kg/m³ dan nilai tertinggi pada 40% sebesar 1,476 Kg/m³, sehingga semakin banyak penambahan serbuk cangkang telur maka semakin berat.
3. Berdasarkan pengujian tarik didapatkan 3 nilai karakteristik material, yaitu kuat tarik, modulus elastisitas dan *elongation*.
 - *Unsaturated Polyester Resin* bekerja sebagai pengikat dan material serbuk cangkang telur sebagai pengisi.
 - Kuat tarik paling rendah didapatkan pada campuran 0% sebesar 23,667 Mpa dan kuat tarik tertinggi ada pada campuran 30 % sebesar 28,132 Mpa
 - Penambahan serbuk cangkang telur sebesar 10%, 20%, 30%, 35% dan 40% meningkatkan nilai kuat tarik dan nilainya memenuhi standard Lloyds Register yang menyaratkan nilai minimum kuat tarik 20Mpa pada temperatur ruangan.
 - Berdasarkan variasi nilai kuat tarik didapatkan grafik yang menanjak, dimulai dari nilai terendah variasi 0%, 10%, 20%, hingga puncaknya 30%. Nilai semakin turun pada campuran 35% dan 40%. Hal ini menunjukkan bahwa pada material inti atau *core material* memiliki nilai optimum ikatan molekul antara material pengikat dan pengisi pada kombinasi campuran tertentu. Prosentase campuran material pengisi (serbuk cangkang telur) yang terlalu tinggi dapat melemahkan kuat Tarik dari *core material*.
 - Modulus elastisitas dengan nilai terendah pada campuran 0% atau pada kondisi *core* tanpa campuran serbuk cangkang telur, dengan besaran

169,19 Mpa. Nilai tersebut tidak memenuhi standard Lloyd's Register dengan nilai minimum 200 Mpa.

- *Unsaturated Polyester Resin* tanpa campuran bersifat getas. Ditambahnya material pengisi serbuk cangkang telur meningkatkan nilai modulus elastisitas sehingga *core material* bersifat lebih *ductile*. Nilai modulus elastisitas tertinggi pada campuran 30% sebesar 300,30 Mpa.
 - *Elongation* pada tiap-tiap variasi *core* bernilai di atas standard minimum Lloyd's register $\geq 20\%$ sehingga semuanya memenuhi kriteria.
4. Berdasarkan hasil pengujian kekerasan disimpulkan bahwa penambahan serbuk cangkang telur meningkatkan nilai kekerasan material *core*. Nilai kekerasan awal *Unsaturated Polyester Resin* tanpa campuran bernilai rata-rata 97,25. meningkat menjadi rata-rata 118,2 - 120,4 pada penambahan campuran 10%-40% dan keseluruhan variasi memenuhi standard LR yang mengacu pada DIN 535055 yaitu ≥ 65 .
 5. Berdasarkan hasil pengujian tekan didapatkan nilai tekanan pada campuran 10% 84,32 N/mm², pada campuran 20% sebesar 86.01N/mm² dan pada campuran 30 % sebesar 88,36 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan prosentase material pengisi pada *core* meningkatkan kemampuan *core* menerima beban tekan.
 6. Berdasarkan hasil pengujian *core material* dipilih 2 variasi campuran yang memiliki karakteristik material tertinggi untuk kemudian dijadikan prosentase pada material *sandwich*, yaitu variasi *core* dengan campuran serbuk cangkang telur 30% dan 20%.
- c. Pengujian Material *Sandwich* (campuran 30% dan 20% serbuk cangkang telur pada *core material*). Pada penelitian ini dilakukan identifikasi material *sandwich* dengan melakukan 3 jenis pengujian yaitu pengujian densitas, pengujian lentur dan pengujian getaran.
1. Berdasarkan pengujian densitas/massa jenis, nilai densitas *sandwich* pada campuran 20% sebesar 3195,96 Kg/m³ sedangkan pada campuran 30 % sebesar 3278,187 Kg/m³. Jika dibandingkan dengan densitas besi yaitu 7850 Kg/m³, maka didapatkan pengurangan densitas sebesar 59,3% dibanding

dengan campuran 20 % dan pengurangan densitas sebesar 58,2% dibanding dengan campuran 30 %.

2. Berdasarkan hasil pengujian lentur menunjukkan bahwa *sandwich* dengan *core material* berbahan cangkang telur sebanyak 30% memiliki kekuatan lentur paling tinggi dibandingkan dengan komposisi lainnya.
 3. Pengujian getaran yang dilakukan menunjukkan bahwa frekuensi natural pada campuran lebih pengaruh adanya cacat pada material inti *sandwich panel* maka terjadi penurunan rata-rata frekuensi natural. Semakin besar nilai frekuensi natural material maka semakin kaku material.
 4. Proses verifikasi data pengujian getaran yang dilakukan dengan membandingkan antara hasil eksperimen dan analisa model. Prosentase keseluruhan percobaan sebesar 2%. Hal ini membuktikan bahwa hasil eksperimen telah baik dan linier dengan hasil analisa pemodelan.
- d. Berdasarkan hasil analisa pemodelan pada struktur kapal menggunakan finite element software,
1. Berat material sandwich lebih besar daripada besi
 2. Pengurangan berat konstruksi bukan berdasarkan penggantian plat melainkan dengan mengurangi profil pada penegar.
 3. Pengurangan berat konstruksi tertinggi yang masih memenuhi tegangan ijin dari material sandwich yaitu pada konstruksi sandwich (1-1-2) dengan selisih berat sebesar 6,6% pada campuran 20% dan selisih 4,8% pada campuran 30%

5.2 Saran

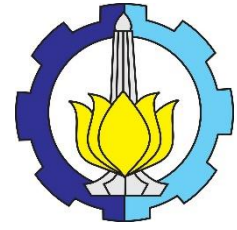
Berdasarkan hasil penelitian, beberapa saran diberikan untuk menunjang hasil penelitian ini diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Pada material *sandwich* ini kuat tarik antara material *face plate* besi dan material *core* (Material Unsaturated Polyester Resin dicampur serbuk cangkang telur) memiliki daya adesif yang rendah, sehingga perlu dilakukan kajian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C 273, “*Standard Test Method for Shear Properties of Sandwich Core Materials*”, American National Standard Institute, United States.
- ASTM C 393, “*Standard test method for flexural properties of sandwich constructions*”, American National Standard Institute, United States.
- ASTM C 293, “*Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading)*”, American National Standard Institute, United States.
- ASTM D 412-68, “*Standard method of tension testing of vulcanized rubber*”, American National Standard Institute, United States.
- ASTM E 1826 - 01, “*Standard Test Method for Dynamic Young’s Modulus, Shear Modulus, and Poisson’s Ratio by Impulse Excitation of Vibration*”, American National Standard Institute, United States.
- Hassan.S.B (2012), “Development of Polyester / Eggshell Particulate Composites”, *Tribology in Industry* vol 34 No. 4 (2012).
- Baidowi.A., Utomo.E. (2015), “Penggunaan *Sandwich Plate System* (SPS) Pada Kontruksi *Double Bottom*”, *e-jurnal.undip.ac.id* vol. 12, No.2.
- Intelligent Engginering. Ltd (2015), *Sps The Sandwich Plate System Heavy Engginering Composit From Intelligent Engginering & Safe Concordia Sps Overly*, <http://.ie-sps.com/sectors/maritime>
- Momcilovic.N., Motok.M. (2009), *Estimation Of Ship Lightweight Reduction By Means Of Application Of Sandwich Plate System*, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Serbia
- NewRail, *Best Practice Guide for Sandwich Structures in Marine Applications*, University of Newcastle upon Tyne
- Brooking.M,A., Kennedy.S.J (2004), “The performance, Safety and Production Benefit of SPS structures for Double Hull Tanker”. *Prodseding of the Rina conference on Double Hull Tankers*, 25-26.02.2004. london, UK, PP,1-2.
- Logan, Daryl L. (2007), “*A First Course in the Finite Element Method*”, Thomson Canada Limited, USA

- Biro Klasifikasi Indonesia, (2016), *Rulls for Fiberglass Rainforced Plastic Ship*, Volume V, Part 3, Spesial Ship, BKI, Indonesia.
- Det Norsake Veritas, (2012), *Steel Sandwich Panel Construction*, Classification Notes, No. 30.11
- Det Norsake Veritas, (2016), *Sandwich core materials*, Class Programme, Dnvg1-Cp-0084.
- Llyod's Register. (2015), *Provisional Rules for The Application of Sandwich Panel Construction to Ship Structure*, LR, UK
- ISO 845, Standard, I. (2007). *International Standard. Cellular plastics and rubbers- Determination of apparent density*, (Vol. 2006)
- Zenkert D. (1995). *An Introduction to Sandwich Construction*, EMAS
- Hexcel Composites. (2000). *Honeycomb Sandwich Design Technology*. Pub. No. AGU 075b. Hexcel Composites, Duxford
- Koswara, S. (2009). *Teknologi Pengolahan Telur (Teori dan Praktek)*. eBookPangan.com
- Rivera, E.M., Araiza, M., Brostow, W., Castaño, V.M., Díaz-Estrada, J.R., Hernández, R. & Rodríguez, J.R. (1999). *Synthesis of hydroxyapatite from eggshells*. *Materials Letters* 41 (3), 128-134
- Brady, James E. (1990). *General Chemistry*. 5th edition, John Wiley dan Sons, New York, 70
- Von Mises, R. (1913) "Mechanik der Festen Korper im Plastisch Deformablen Zustand," *Nachr. Ges. Wiss. Gottingen*, pp. 582



LAMPIRAN PERHITUNGAN

LAMPIRAN I

NO	Provinsi	Produksi Telur Ayam Petelur menurut Provinsi (Ton)								
		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	ACEH	1868.21	1961.62	2419.00	3640.00	2198.00	1892.00	3080.17	3713.70	3973.66
2	SUMATERA UTARA	69323.47	74301.83	79204.00	108018.00	140711.00	132949.00	136257.70	141483.61	142118.94
3	SUMATERA BARAT	55537.59	55537.59	60148.00	62687.00	65688.00	63706.00	65046.41	64246.41	64688.70
4	RIAU	5049.00	1748.11	1384.00	2022.00	2217.00	1019.00	986.53	2396.11	2444.03
5	JAMBI	3393.11	3847.75	4771.00	4641.00	7332.00	4950.00	4878.04	5414.35	5780.36
6	SUMATERA SELATAN	46682.84	47616.49	48726.00	49540.00	59106.00	55354.00	56242.04	56701.04	58451.99
7	BENGKULU	434.69	451.82	582.00	576.00	529.00	561.00	986.93	1272.84	1441.49
8	LAMPUNG	34230.66	40470.31	44878.00	61335.00	51388.00	50786.00	37839.27	39286.21	42992.86
9	KEP. BANGKA BELITUNG	1463.17	579.79	593.00	544.00	1238.00	669.00	582.78	890.57	1006.70
10	KEP. RIAU	6433.00	6935.16	7129.00	3425.00	3154.00	2927.00	3620.18	5041.82	7021.74
11	DKI JAKARTA	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00
12	JAWA BARAT	95627.70	103427.58	115787.00	120123.00	131586.00	134581.00	133435.77	139192.78	145861.76
13	JAWA TENGAH	169146.42	174883.79	179974.00	192071.00	204357.00	191546.00	202110.15	214724.97	208885.40
14	DI YOGYAKARTA	26249.98	23361.24	26111.00	25802.00	24660.00	26493.00	28083.47	28389.11	28471.53
15	JAWA TIMUR	204146.71	209515.63	235832.00	270700.00	293532.00	291399.00	390055.43	445792.69	455600.13
16	BANTEN	43619.60	41580.62	57626.00	47455.00	46751.00	40279.00	45918.23	58447.26	59586.86
17	BALI	28893.71	29471.58	36606.00	47969.00	36590.00	36602.00	40986.77	49004.27	49440.41
18	NUSA TENGGARA BARAT	648.13	9008.08	1268.00	1338.00	1551.00	2293.00	3598.26	5025.51	5259.45
19	NUSA TENGGARA TIMUR	607.00	705.13	1385.00	1164.00	1317.00	1333.00	1341.05	1346.05	1353.47
20	KALIMANTAN BARAT	15987.51	16256.56	15613.00	23906.00	19875.00	43800.00	31850.61	27620.66	29891.70
21	KALIMANTAN TENGAH	522.00	538.00	120.00	209.00	285.00	1191.00	1402.79	1735.95	2058.20
22	KALIMANTAN SELATAN	30645.47	28990.29	20286.00	20955.00	33947.00	47651.00	60261.83	64574.21	65865.70
23	KALIMANTAN TIMUR	8032.42	12164.32	8032.00	12240.00	9462.00	5291.00	7451.19	6493.18	6623.04
24	KALIMANTAN UTARA	-	-	-	-	-	348.00	377.48	205.40	225.94
25	SULAWESI UTARA	7218.57	7315.74	7838.00	8552.00	9774.00	9949.00	10453.30	10968.53	11002.18
26	SULAWESI TENGAH	4897.23	4445.10	5297.00	4621.00	6690.00	7837.00	7388.68	9538.05	19039.43
27	SULAWESI SELATAN	45147.76	45903.04	50003.00	60144.00	64017.00	80815.00	89330.60	90513.88	95039.59
28	SULAWESI TENGGARA	1248.00	1413.78	1369.00	1126.00	1113.00	1191.00	1524.07	2217.45	2804.57
29	GORONTALO	1039.28	1551.19	1565.00	2149.00	2437.00	2773.00	2828.39	2784.77	2797.18
30	SULAWESI BARAT	44.36	137.72	607.00	638.00	774.00	770.00	1106.58	1187.82	1268.67
31	MALUKU	267.25	284.86	348.00	371.00	83.00	155.00	72.04	145.10	164.34
32	MALUKU UTARA	133.83	140.00	10838.00	130.00	325.00	227.00	108.62	157.33	246.58
33	PAPUA BARAT	304.91	338.19	494.00	705.00	784.00	2109.00	913.90	956.00	987.41
34	PAPUA	675.74	752.22	1013.00	1153.00	931.00	865.00	2709.72	4220.29	4740.84
35	INDONESIA	909.519,31	945.635,11	1.027.846,00	1.139.949,00	1.224.402,00	1.244.311,00	1.372.829,00	1.485.687,93	1.527.134,87

LAMPIRAN II

LAMPIRAN

Perhitungan Density Core Material (Resin 157 + Eggshell Powder)

Standarisasi Pengujian : ISO 845

No	Core Material		Berat	Panjang	Lebar	Tebal	Volume	Densitas
			(g)	(cm)	(cm)	(cm)	cm ³	(g/cm ³)
1	Komposisi Eggshell Powder 10%	Spesimen 1	138	10,09	10,21	1,09	111,831	1,234
		spesimen 2	134	10,21	9,76	1,12	111,853	1,198
		spesimen 3	140	10,29	9,88	1,17	118,443	1,182
		spesimen 4	133	9,87	10,17	1,06	106,485	1,249
		spesimen 5	141	10,12	10,2	1,13	116,770	1,207
DENSITY RATA2								1,214
2	Komposisi Eggshell Powder 20%	Spesimen 1	153	10,21	10,16	1,12	116,616	1,312
		spesimen 2	149	9,81	10,11	1,11	109,882	1,356
		spesimen 3	143	10,28	10,13	1,15	119,366	1,198
		spesimen 4	157	10,89	9,87	1,10	118,045	1,330
		spesimen 5	152	9,91	10,23	1,15	116,612	1,303
DENSITY RATA2								1,300
3	Komposisi Eggshell Powder 30%	Spesimen 1	162	10,02	10,23	1,14	116,631	1,389
		spesimen 2	158	9,93	10,07	1,11	111,189	1,421
		spesimen 3	163	10,11	9,96	1,14	115,276	1,414
		spesimen 4	171	10,22	10,15	1,18	122,318	1,398
		spesimen 5	160	9,88	9,96	1,20	117,854	1,358
DENSITY RATA2								1,396
4	Komposisi Eggshell Powder 35%	Spesimen 1	171	10,13	10,17	1,15	118,585	1,442
		spesimen 2	170	10,09	10,11	1,12	114,247	1,488
		spesimen 3	168	10,07	9,96	1,14	114,519	1,467
		spesimen 4	174	10,22	10,15	1,15	119,588	1,455
		spesimen 5	165	10,19	10,23	1,09	113,494	1,454
DENSITY RATA2								1,461
5	Komposisi Eggshell Powder 40%	Spesimen 1	175	10,31	10,17	1,13	118,163	1,481
		spesimen 2	169	10,09	9,87	1,16	115,044	1,469
		spesimen 3	173	10,36	10,14	1,10	115,487	1,498
		spesimen 4	168	10,36	10,28	1,09	115,623	1,453
		spesimen 5	174	10,23	10,23	1,12	117,609	1,479
DENSITY RATA2								1,476

LAMPIRAN III


**TABEL DATA HASIL
PENGUJIAN TARIK CORE MATERIAL SANDWICH PANEL**

Tanggal Pengujian : July 2018
 Lokasi Pengujian : Laboratorium Material Koarmatim AL - Tanjung Perak, Surabaya
 Type Alat Uji : UTM
 Standarisasi Pengujian : ASTM D638

Tensile Test								
Spesimen	[a]	[b]	[S ₀]	max disp	Elongation	Max Stress	Max Strain	modulus
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	(Mpa)		(Mpa)
core material 1								
Spesimen 1	14,07	19,31	271,692	10,68	21,35	25,257	0,2135	220,9
Spesimen 2	13,61	19,38	263,762	10,39	20,78	24,149	0,2078	225,4
Spesimen 3	13,92	19,03	264,898	10,72	21,44	24,224	0,2144	218,8
Spesimen 4	14,12	19,82	279,858	11,07	22,14	25,123	0,2214	221,5
Spesimen 5	13,69	18,86	258,193	10,70	21,39	22,637	0,2139	216,9
core material 2								
Spesimen 1	14,17	20,11	284,959	12,06	23,11	25,864	0,2411	280,4
Spesimen 2	13,82	19,89	274,880	11,56	22,12	27,832	0,2312	279,8
Spesimen 3	13,78	19,67	271,053	11,28	21,55	28,171	0,2255	282,4
Spesimen 4	13,89	20,31	282,106	11,88	22,75	27,339	0,2375	283,3
Spesimen 5	14,21	19,91	282,921	11,74	22,47	28,684	0,2347	281,4
core material 3								
Spesimen 1	14,13	19,15	270,590	10,96	20,92	27,349	0,2192	300,5
Spesimen 2	13,7	19,27	263,999	11,49	21,97	27,988	0,2297	290,5
Spesimen 3	13,98	19,84	277,363	12,38	23,76	28,972	0,2476	302,2
Spesimen 4	14,6	19,7	287,620	11,76	22,52	26,815	0,2352	310,6
Spesimen 5	14,03	19,6	274,988	12,42	23,83	29,536	0,2483	297,7
core material 4								
Spesimen 1	14,23	19,68	280,046	11,14	21,28	27,131	0,2228	280,5
Spesimen 2	13,86	19,91	275,953	10,99	20,98	26,578	0,2198	270,6
Spesimen 3	14,01	19,35	271,094	11,51	22,02	26,865	0,2302	272,4
Spesimen 4	13,98	20,02	279,880	11,27	21,54	27,523	0,2254	280,8
Spesimen 5	14,11	19,34	272,887	10,79	20,58	23,648	0,2158	264,3
core material 5								
Spesimen 1	14,8	19,09	282,532	10,87	20,73	25,343	0,2173	278,8
Spesimen 2	14	18,9	264,600	11,12	21,23	24,866	0,2223	276,2
Spesimen 3	14,63	18,81	275,190	11,23	21,45	24,892	0,2245	280,4
Spesimen 4	14,36	18,6	267,096	10,94	20,87	25,765	0,2187	270,5
Spesimen 5	14,47	18,65	269,866	11,36	21,72	25,309	0,2272	261,0

Acceptance Criteria Material, With Standaritation ASTMD638	
Result Type	Classification Rule of Ship LR
Tensile Strength	≥ 20 Mpa at RT
Tensile Modulus	≥ 5 Mpa at RT
Elongation at Break	Min. 10% - 20% at RT
Shear Modulus	Min. 120 Mpa
Density	≥ 1000 kg/m ³ at RT

LAMPIRAN IV

	LAMPIRAN KALKULASI KETEBALAN PANEL SANDWICH																																																													
	Nama Kapal	:	TOL LAUT NUSANTARA																																																											
	Type Kapal	:	CONTAINER 100 TEUS																																																											
	Sistem Konstruksi	:	MELINTANG																																																											
	Kelas	:	BKI																																																											
I. KETEBALAN MINIMUM LAPISAN FACE PLATE																																																														
<p>Ketebalan minimum dari rancangan panel sandwich, dihitung berdasarkan persamaan berikut ini, berdasarkan aturan yang ditetapkan oleh LR (2015).</p> <p>Tabel A : Minimum thicknesses</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Item</th> <th colspan="2">Minum thickness in mm</th> </tr> <tr> <th>New construction</th> <th>Overlay construction</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>t_{1MIN}</td> <td style="text-align: center;">3,0</td> <td style="text-align: center;">3,0</td> </tr> <tr> <td>t_{2MIN}</td> <td style="text-align: center;">3,0</td> <td style="text-align: center;">50 % of the as-built thickness</td> </tr> </tbody> </table> <p>The thickness of the core is not to be less than: $t_c = 15 \text{ mm}$</p> <p>Tabel B : Thickness allowance</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-bottom: 10px;"> <thead> <tr> <th>Structure</th> <th>t_{aR}</th> <th>t_{a1}</th> <th>t_{a2}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Bottom shell</td><td style="text-align: center;">1</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">1</td></tr> <tr><td>Side shell</td><td style="text-align: center;">1</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">1</td></tr> <tr><td>Inner bottom, hopper plating</td><td style="text-align: center;">2</td><td style="text-align: center;">1</td><td style="text-align: center;">1</td></tr> <tr><td>Inner bottom, at crown of tank</td><td style="text-align: center;">3,5</td><td style="text-align: center;">1</td><td style="text-align: center;">2,5</td></tr> <tr><td>Strength deck</td><td style="text-align: center;">3,5</td><td style="text-align: center;">2</td><td style="text-align: center;">0</td></tr> <tr><td>Internal deck</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0,0</td><td style="text-align: center;">0</td></tr> <tr><td>Superstructure Deck</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0,0</td><td style="text-align: center;">0</td></tr> <tr><td>Watertight bulkheads</td><td style="text-align: center;">0</td><td style="text-align: center;">0,0</td><td style="text-align: center;">0</td></tr> <tr><td>Deep tank bulkheads</td><td style="text-align: center;">2,5</td><td style="text-align: center;">0,0</td><td style="text-align: center;">2,5</td></tr> <tr><td>Deep tank crown which is also a deck</td><td style="text-align: center;">3,5</td><td style="text-align: center;">1,0</td><td style="text-align: center;">2,50</td></tr> <tr><td>Vehicle deck clear of tanks</td><td style="text-align: center;">2</td><td style="text-align: center;">2</td><td style="text-align: center;">0</td></tr> </tbody> </table> <p>Strength Indel R</p> $R = 0,01 A_R \left[0,1 \frac{b^2}{a (t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{bt_c}{a^2} \right)^{1,3} \right] k P_{eq,R}$ <p>Dimana : $A_R = \left(\frac{a}{b} \right)^{0,56}$ $P_{eq,R} = 0,0017 \frac{Z_{rule}}{l^2}$ in N/mm² l = length of panel, in meters Z_{rule} = equivalent section modules, in cm³, see Ch 3, 4.4 Thickness of sandwich panel t_c = selected core thickness, in mm a, b, d = see Ch 1, 7.2 Symbols t_1, t_2 = thicknesses of the top bottom plating, in mm, see Figure 3.4.2 Determination of top and bottom plate thickness and core thickness k = see Pt 3, Ch 2, 1.2 Steel of the Rules for Ship</p> <p>t rules = 10 mm existing t_c = 20 mm t_{aR} = 3,5 mm t_{a1} = 2 mm t_{a2} = 0 mm a = 2400 mm (length of the panel at longest edge, in mm) b = 1500 mm (breadth of the panel at shortest edge, in mm) t_1 = 3,95 mm (Thickness of the top plate, in mm) 4 mm</p>				Item	Minum thickness in mm		New construction	Overlay construction	t_{1MIN}	3,0	3,0	t_{2MIN}	3,0	50 % of the as-built thickness	Structure	t_{aR}	t_{a1}	t_{a2}	Bottom shell	1	0	1	Side shell	1	0	1	Inner bottom, hopper plating	2	1	1	Inner bottom, at crown of tank	3,5	1	2,5	Strength deck	3,5	2	0	Internal deck	0	0,0	0	Superstructure Deck	0	0,0	0	Watertight bulkheads	0	0,0	0	Deep tank bulkheads	2,5	0,0	2,5	Deep tank crown which is also a deck	3,5	1,0	2,50	Vehicle deck clear of tanks	2	2	0
Item	Minum thickness in mm																																																													
	New construction	Overlay construction																																																												
t_{1MIN}	3,0	3,0																																																												
t_{2MIN}	3,0	50 % of the as-built thickness																																																												
Structure	t_{aR}	t_{a1}	t_{a2}																																																											
Bottom shell	1	0	1																																																											
Side shell	1	0	1																																																											
Inner bottom, hopper plating	2	1	1																																																											
Inner bottom, at crown of tank	3,5	1	2,5																																																											
Strength deck	3,5	2	0																																																											
Internal deck	0	0,0	0																																																											
Superstructure Deck	0	0,0	0																																																											
Watertight bulkheads	0	0,0	0																																																											
Deep tank bulkheads	2,5	0,0	2,5																																																											
Deep tank crown which is also a deck	3,5	1,0	2,50																																																											
Vehicle deck clear of tanks	2	2	0																																																											

$$t_2 = 1,95 \text{ mm} \quad (\text{thickness of the bottom plate, in mm})$$

$$A_R = \frac{2}{1,36}$$

$$P_{eq,R} = 0,01 \text{ N/mm}^2$$

$$Z_{Rules} = 417288$$

$$l = 240 \text{ mm}$$

$$d = 23 \text{ mm}$$

$$k = 1$$

$$R = 0,2895 \quad \text{oke}$$

Calculate the top and bottom thickness
 $t_1 = 0,3 (t_{rule} - t_{aR}) + t_{a1}$
 $t_2 = 0,3 (t_{rule} - t_{aR}) + t_{a2}$

$$R = 0,01 A_R \left[0,1 \frac{b^2}{a (t_1 + t_2)} + 11,7 \left(\frac{bt_c}{a^2} \right)^{1,3} \right] k P_{eq,R}$$

- a = length of the panel at longest edge, in mm
- b = breadth of the panel at shortest edge, in mm
- d = $0,5(t_1 + t_2) + t_c$, in mm
- t_1 = thickness of the top plate, in mm
- t_2 = thickness of the bottom plate, in mm
- t_{a1} = thickness allowance for the top plate, in mm
- t_{a2} = thickness allowance for the bottom plate, in mm
- t_c = thickness of the core, in mm

t rules	t_{aR}	t_{a1}	t_{a2}	Face plate	
				t1	t2
10	3,5	2	0	3,95	1,95

Pembulatan

Nama bagian	t_c (mm)	a (mm)	b (mm)	A_R	Z_{rule}	l	P_{eqR} (Mpa)	Face Plate			d (mm)	R	$R \leq l$
								$t1$	$t2$	k			
Deck	20	2400	1500	1,36	417288	240	0,01	3	4	1	23,5	0,24	oke
	20	2400	1500	1,36	417288	240	0,01	4	4	1	24	0,21	oke
	20	2400	1500	1,36	417288	240	0,01	4	4	1	24	0,21	oke
	20	2400	1500	1,36	417288	240	0,01	4	4	1	24	0,21	oke
	20	2400	1500	1,36	417288	240	0,01	4	4	1	24	0,21	oke

LAMPIRAN V

LAMPIRAN
PENGUJIAN KEKERASAN

Tanggal Pengujian : -
 Lokasi Pengujian : Lab Pascasarjana Perkapalan
 Type Alat Uji : Shore D
 Standarisasi Pengujian : DIN 53505

Uji kekerasan Shore D \geq 65 RT


Core Composition	Panjang (mm)	lebar (mm)	Tinggi (mm)	Nilai kekerasan	rata-rata
Core Material 0 %					
Spesimen 1	50	20	15	116,5	117,6
Spesimen 2	50	20	15	118	
Spesimen 3	50	20	15	119	
Spesimen 4	50	20	15	117,5	
Spesimen 5	50	20	15	117	
Core Material 10 %					
Spesimen 1	50	20	15	117,5	118,4
Spesimen 2	50	20	15	118	
Spesimen 3	50	20	15	118	
Spesimen 4	50	20	15	120	
Spesimen 5	50	20	15	118,5	
Core Material 20 %					
Spesimen 1	50	20	15	119	118,2
Spesimen 2	50	20	15	117,5	
Spesimen 3	50	20	15	117	
Spesimen 4	50	20	15	118	
Spesimen 5	50	20	15	119,5	
Core Material 30 %					
Spesimen 1	50	20	15	121	120,4
Spesimen 2	50	20	15	120,5	
Spesimen 3	50	20	15	120	
Spesimen 4	50	20	15	119,5	
Spesimen 5	50	20	15	121	
Core Material 35 %					
Spesimen 1	50	20	15	119	119,1
Spesimen 2	50	20	15	120	
Spesimen 3	50	20	15	118,5	
Spesimen 4	50	20	15	121	
Spesimen 5	50	20	15	117	
Core Material 40 %					
Spesimen 1	50	20	15	120,5	118,8
Spesimen 2	50	20	15	118	
Spesimen 3	50	20	15	117,5	
Spesimen 4	50	20	15	121	
Spesimen 5	50	20	15	117	


LAMPIRAN VI
LAMPIRAN
PENGUJIAN TEKAN

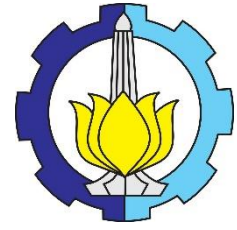
Tanggal Pengujian : 17 mei 2018
 Lokasi Pengujian : Teknik Sipil
 Type Alat Uji : Digital Compression Machine
 Standarisasi Pengujian : ASTM D695

Core Composition	Tinggi	Diameter	Luas cm ²	Volume cm ³	Gaya N	Stress	
Core Material 10 %							
Spesimen 1	29,07	15,45	187,381	5447,18	15000	80,051	84,320
Spesimen 2	30,2	15,45	187,381	5658,92	16000	85,387	
Spesimen 3	27,32	15,45	187,381	5119,26	15000	80,051	
Spesimen 4	26,69	15,45	187,381	5001,21	17000	90,724	
Spesimen 5	29,66	15,45	187,381	5557,73	16000	85,387	
Core Material 20 %							
Spesimen 1	26,4	15,49	188,353	4972,52	17000	90,256	86,009
Spesimen 2	27,7	15,49	188,353	5217,38	16000	84,947	
Spesimen 3	27,77	15,49	188,353	5230,56	16000	84,947	
Spesimen 4	26,09	15,49	188,353	4914,13	17000	90,256	
Spesimen 5	25,84	15,49	188,353	4867,04	15000	79,638	
Core Material 30 %							
Spesimen 1	26,98	15,47	187,867	5068,65	16000	85,167	88,360
Spesimen 2	26,68	15,47	187,867	5012,29	17000	90,490	
Spesimen 3	28,41	15,47	187,867	5337,3	16000	85,167	
Spesimen 4	26,87	15,47	187,867	5047,98	17000	90,490	
Spesimen 5	26,83	15,47	187,867	5040,47	17000	90,490	

LAMPIRAN VII

		MIDSHIP SECTION & CONSTRUCTION PROFILE			Main Dimension		
		Nama kapal	:	TOLL LAUT 100 TEUS	L =	74,05 m	
		Type kapal	:	KKONTAINER	B =	17,02 m	
		Sistem konstruksi	:	MEMANJANG	H =	4,90 m	
		Perhitungan Konstruksi Kapal Baja dari BKI Volume II Tahun 2009			T =	3,90 m	
Bagian		DEFINISI-DEFINISI & UKURAN UTAMA			halaman 2		
Sect	Ps	Ayat	Perhitungan / Uraian			Hasil	
			A	M	F		
			Z	4,90	4,90	4,90	m
			T	3,90	3,90	3,90	m
			H	4,90	4,90	4,90	m
			<p>maka, besarnya beban geladak cuaca dapat dihitung sebagai berikut:</p> <p>Daerah $0 \leq x/L < 0.2$ [A]</p> <p><u>untuk pelat geladak cuaca, pelat panel pilar</u></p> $P_D = (P_o \times 20 \times T \times C_D) / ((10 + Z - T)H)$ $= (017 \times 20 \times 004 \times 01) / [(10 + 005 - 004) \times 005]$ $= 25,20 \quad \text{kN/m}^2$ $P_{D \text{ min}} = P_o \times 0.7$ $= 11,61$ <p style="text-align: right;">$P_D = 25,20 \quad \text{kN/m}^2$</p> <p><u>untuk balok geladak, penegar geladak</u></p> $P_D = (P_o \times 20 \times T \times C_D) / ((10 + Z - T)H)$ $= (012 \times 20 \times 004 \times 01) / [(10 + 004 - 005) \times 005]$ $= 18,90 \quad \text{kN/m}^2$ $P_{D \text{ min}} = P_o \times 0.7$ $= 8,71$ <p style="text-align: right;">$P_D = 18,90 \quad \text{kN/m}^2$</p> <p><u>untuk balok besar, penumpu geladak</u></p> $P_D = (P_o \times 20 \times T \times C_D) / ((10 + Z - T)H)$ $= (010 \times 20 \times 004 \times 01) / [(10 + 005 - 004) \times 005]$ $= 15,12 \quad \text{kN/m}^2$ $P_{D \text{ min}} = P_o \times 0.7$ $= 6,96$ <p style="text-align: right;">$P_D = 15,12 \quad \text{kN/m}^2$</p> <p>Daerah $0.2 \leq x/L < 0.7$ [M]</p> <p><u>untuk pelat geladak cuaca, pelat panel pilar</u></p> $P_D = (P_o \times 20 \times T \times C_D) / ((10 + Z - T)H)$ $= (017 \times 20 \times 004 \times 1) / [(10 + 005 - 004) \times 005]$ $= 24,00 \quad \text{kN/m}^2$ $P_{D \text{ min}} = P_o \times 0.7$ $= 11,61$ <p style="text-align: right;">$P_D = 24,00 \quad \text{kN/m}^2$</p> <p><u>untuk balok geladak, penegar geladak</u></p> $P_D = (P_o \times 20 \times T \times C_D) / ((10 + Z - T)H)$ $= (012 \times 20 \times 004 \times 1) / [(10 + 005 - 004) \times 005]$ $= 18,00 \quad \text{kN/m}^2$ $P_{D \text{ min}} = P_o \times 0.7$ $= 8,71$ <p style="text-align: right;">$P_D = 18,00 \quad \text{kN/m}^2$</p> <p><u>untuk balok besar, penumpu geladak</u></p> $P_D = (P_o \times 20 \times T \times C_D) / ((10 + Z - T)H)$ $= (010 \times 20 \times 004 \times 1) / [(10 + 005 - 004) \times 005]$ $= 14,40 \quad \text{kN/m}^2$ <p style="text-align: right;">$P_D = 14,40 \quad \text{kN/m}^2$</p>				

			Nama kapal : TOLL LAUT 100 TEUS Type kapal : KONTAINER Sistem konstruksi : MEMANJANG		Main Dimension L = 74,05 m B = 17,02 m H = 4,90 m T = 3,90 m		
			Perhitungan Konstruksi Kapal Baja dari BKI Volume II Tahun 2009				
Bagian			PERHITUNGAN LOAD		halaman 1		
Sect	Ps	Ayat	Perhitungan / Uraian			Hasil	
PERENCANAAN BEBAN PADA KAPAL							
IV	A	2,2	Basic External Dynamic Load $P_0 = 2,1 \cdot (C_B + 0,7) \cdot C_0 \cdot C_L \cdot f$ [kN/m ²] $C_0 = (10,75 - (300 - L/100)^{1,5}) \cdot C_{RW}$; 90m ≤ L ≤ 300m = 5,43 $C_L = 1$ L ≥ 90m $C_{RW} = 0,75$ Pelayaran lokal $f = 1$ Untuk pelat kulit, geladak cuaca $f = 0,75$ Untuk gading biasa, balok geladak $f = 0,6$ Untuk gading besar, senta, penumpang				
			maka: $P_0 = 0,02 \times (0,001 + 0,7) \times 0,005 \times 1 \times 1$ Untuk pelat kulit, geladak cuaca = 16,58 kN/m ²				$P_0 = 16,58$ kN/m ²
			$P_0 = 0,02 \times (0,001 + 0,7) \times 0,005 \times 1 \times 0,01$ biasa, balok geladak, Pembujur = 12,44 kN/m ²				$P_0 = 12,44$ kN/m ²
			$P_0 = 0,02 \times (0,001 + 0,7) \times 0,005 \times 1 \times 0,1$ besar, senta, penumpang = 9,95 kN/m ²				$P_0 = 9,95$ kN/m ²
			$P_{01} = 2,6 \cdot (C_b + 0,7) \cdot C_0 \cdot C_L$ = 20,531 kN/m ²				$P_{01} = 20,531$ kN/m ²
IV	B	1	Load on Weather Decks (Geladak Cuaca) $P_D = (P_0 \times 20 \times T \times C_D) / ((10 + Z - T) \cdot H)$ [kN/m ²] Harga C _D dapat di cari dari tabel dibawah ini $x=18$				
			Tabel 1				
				Range	Factor C_D	Factor C_F	
			A	$0 \leq x/L < 0,2$ $x/L = 0,15$	$1,2 - x/L$ $C_D = 1,1$	$1,0 + 5/C_b [0,2 - x/L]$ $C_F = 1,33$	
			M	$0,2 \leq x/L < 0,7$ $x/L = 0,7$	1 $C_D = 1$	1 $C_F = 1$	
F	$0,7 \leq x/L \leq 1$ $x/L = 0,90$	$1,0 + c/3 [x/L - 0,7]$ $c = 0,15 \cdot L - 10$ $L_{min} = 100$ m $C_D = 1,3$	$1 + 20/C_b [x/L - 0,7]^2$ $C_F = 2,1$				
dimana : Z = jarak vertikal dari pusat beban terhadap base line, untuk beban pada pelat geladak diukur sebagai jarak deck terhadap baseline (H) Z = jarak vertikal pusat beban profil diantara senta terhadap base line untuk beban penegar diukur dari tengah-tengah profil/penegar.							



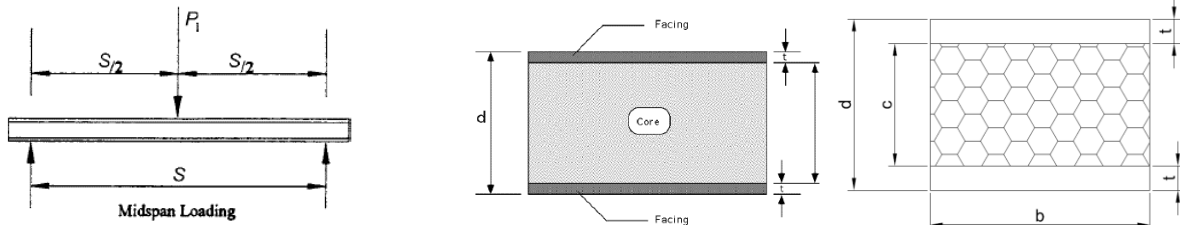
LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN

LAMPIRAN VIII

TABEL DATA HASIL PENGUJIAN LENTUR SANDWICH PANEL

Hari Pengujian : -
 Tanggal Pengujian : -
 Lokasi Pengujian : Laboratorium Material Koarmatim AL- Tanjung Perak, Surabaya
 Type Alat Uji : UTM

Standarisasi Dimensional : ASTM C 393-11
 Standarisasi Pengujian : ASTM C 393-11
 Di Uji Oleh : AZ TEAM



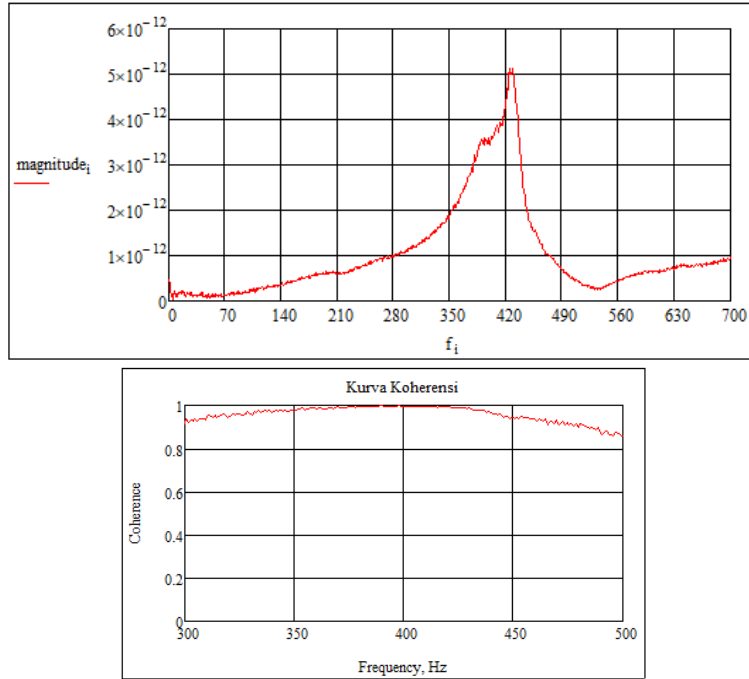
Flexure Test

Keterangan	Dimensional					P yield	P max	F _{sult}	F _{syield}	σ
	[b]	[t]	[c]	[d]	[S]					
Spesimen	(mm)	(mm)	(mm ²)	(mm)	(mm)	N	(N)	(MPa)	[P yield/(d+c)b]	[P max S/2t(d+c)b]
Core Material 20%										
Spesimen 1	75,00	4,00	20,00	28,00	162		10775,00	2,99	0,00	60,61
Spesimen 2	75,00	4,00	20,00	28,00	162	2162,50	16081,20	4,47	0,60	90,457
Spesimen 3	75,00	4,00	20,00	28,00	162	1668,75	20340,60	5,65	0,46	114,42
Spesimen 4	75,00	4,00	20,00	28,00	162	5775,00	13656,30	3,79	1,60	76,82
Spesimen 5	75,00	4,00	20,00	28,00	162	5250,00	12443,80	3,46	1,46	70,00
Core Material 30%										
Spesimen 1	75,00	4,00	20,00	28,00	162	6940,63	15334,40	4,26	1,93	86,26
Spesimen 2	75,00	4,00	20,00	28,00	162	3312,50	7253,13	2,01	0,92	40,80
Spesimen 3	75,00	4,00	20,00	28,00	162	5609,38	16900,00	4,69	1,56	95,063
Spesimen 4	75,00	4,00	20,00	28,00	162	3928,13	10087,50	2,80	1,09	56,74
Spesimen 5	75,00	4,00	20,00	28,00	162	4200,00	8462,50	2,35	1,17	47,60

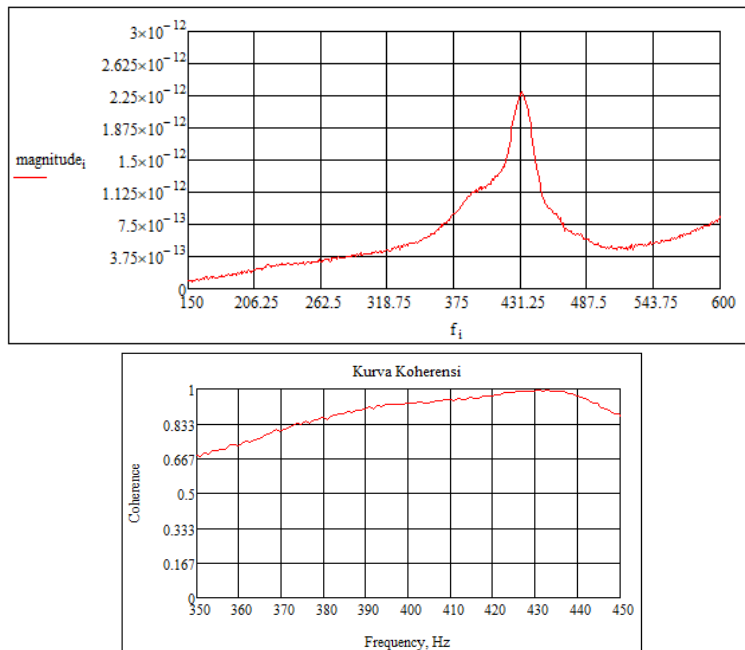
Material	F _{sult} (MPa)	F _{syield} (MPa)	σ max (MPa)
Core material 20%	4,07	0,83	90,46
Core material 30%	3,22	1,33	95,06

LAMPIRAN IX CACAT

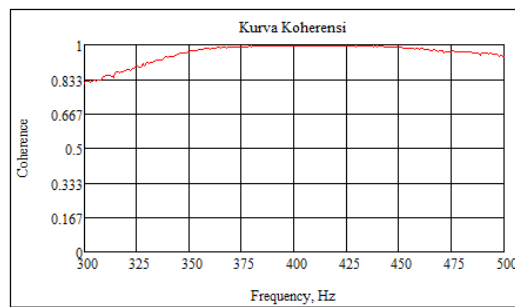
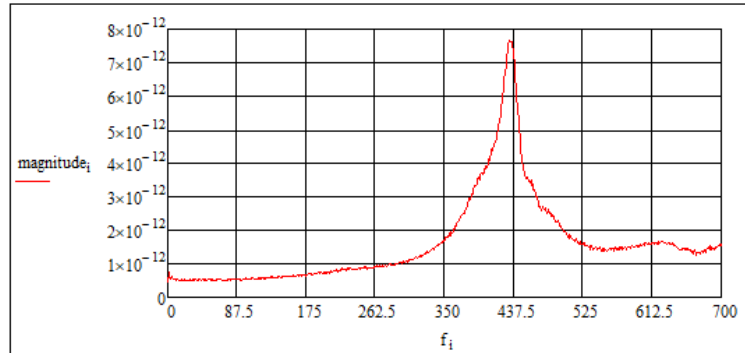
Sandwich 20% Posisi Accelerator 1 Hammer Mid



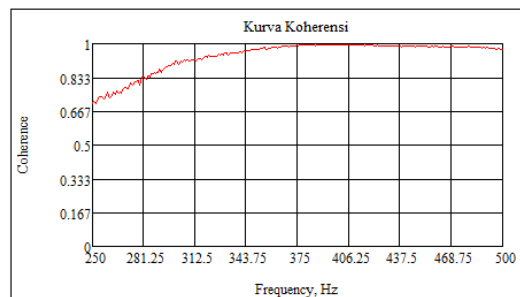
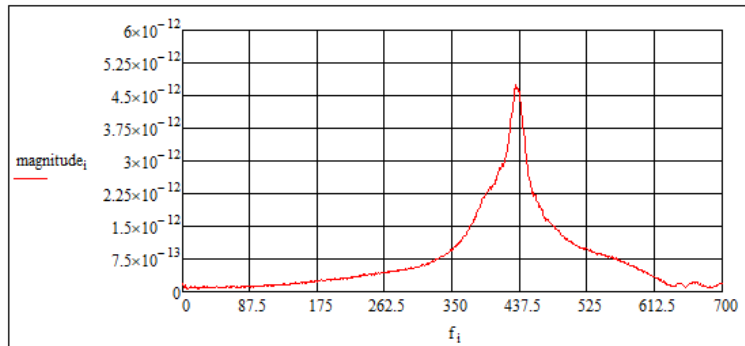
Sandwich 20% Posisi Accelerator 1 Hammer Side



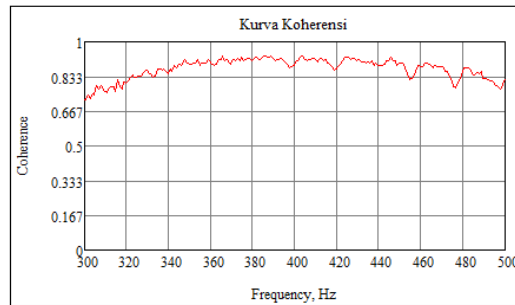
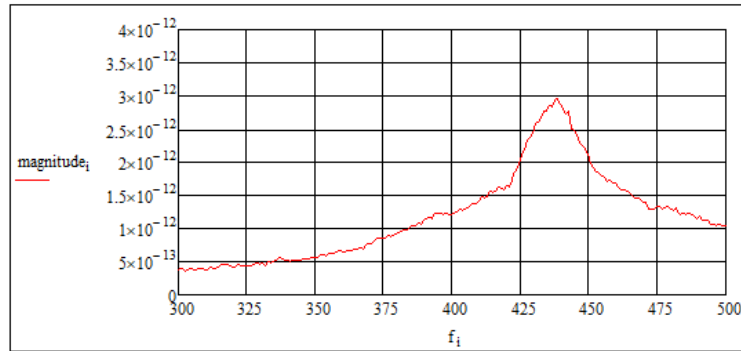
Sandwich 20% Posisi Accelerator 2 Hammer Kanan



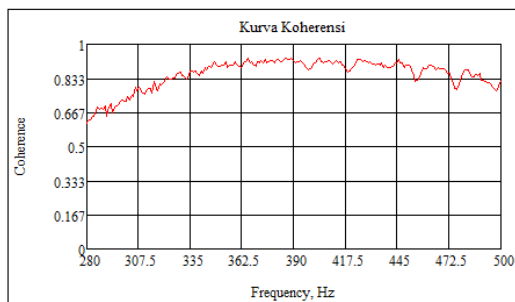
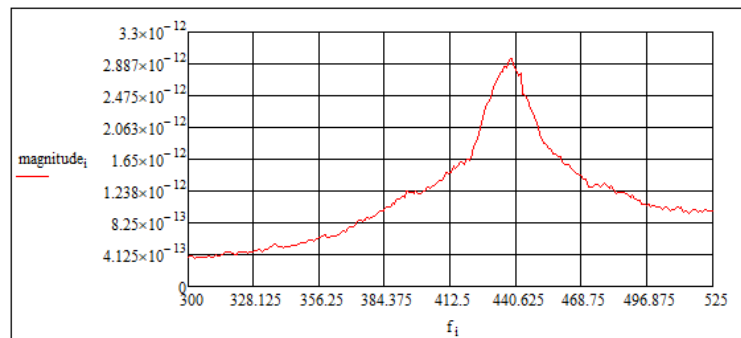
Sandwich 20% Posisi Accelerator 2 Hammer Kiri



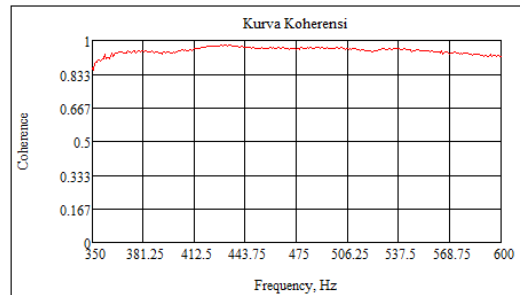
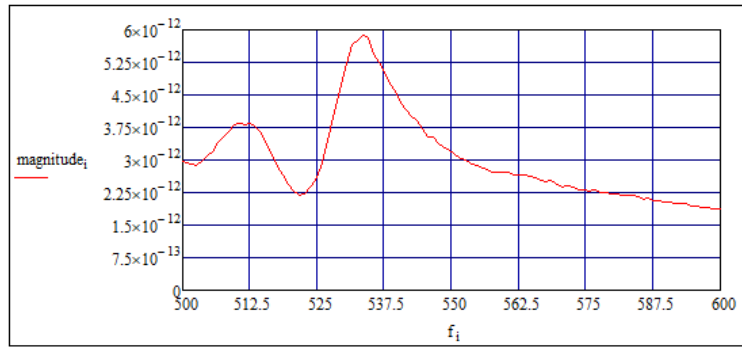
Sandwich 20% Posisi Accelerator 3 Hammer Mid



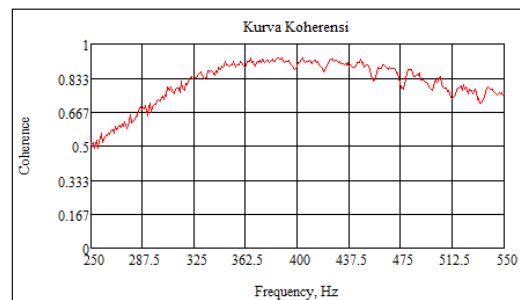
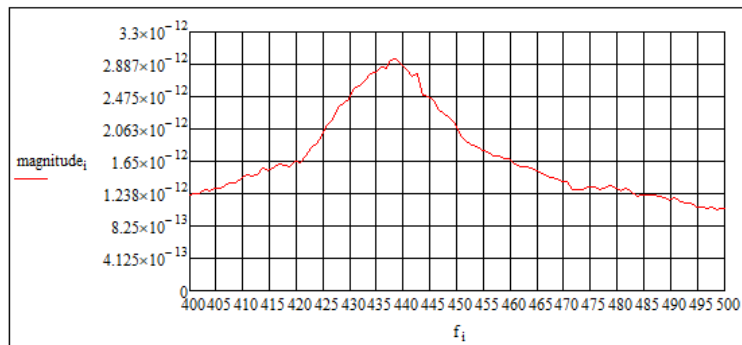
Sandwich 20% Posisi Accelerator 3 Hammer Side



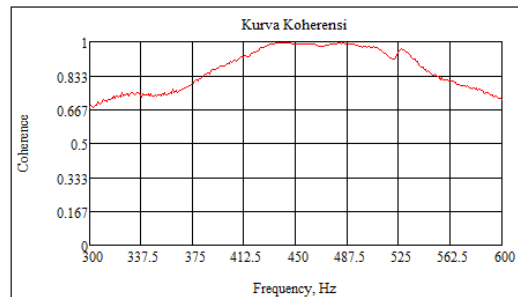
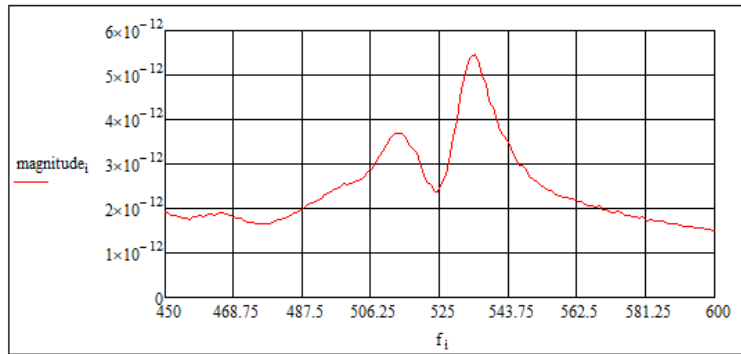
Sandwich 30% Posisi Accelerator 1 Hammer Mid



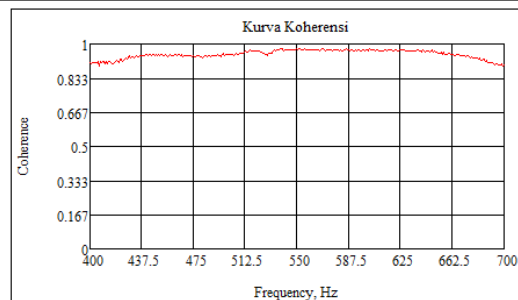
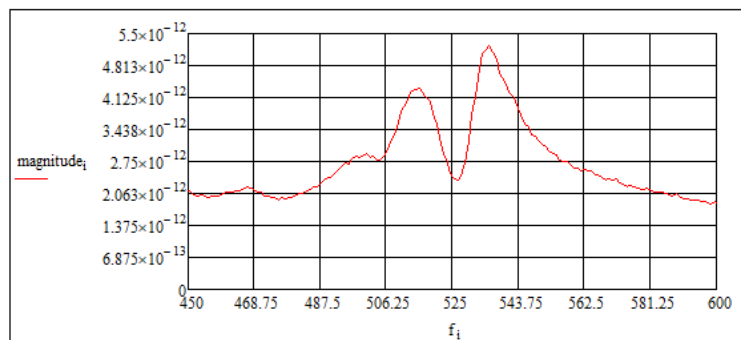
Sandwich 30% Posisi Accelerator 1 Hammer Side



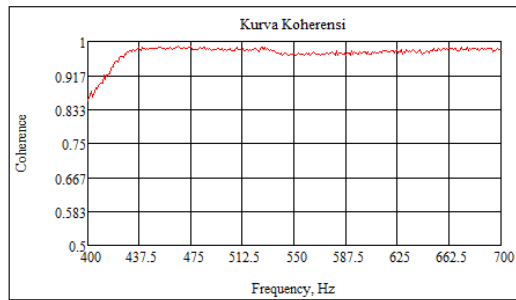
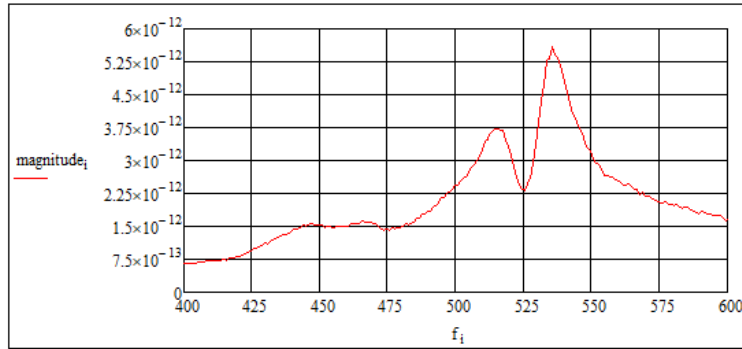
Sandwich 30% Posisi Accelerator 2 Hammer Kanan



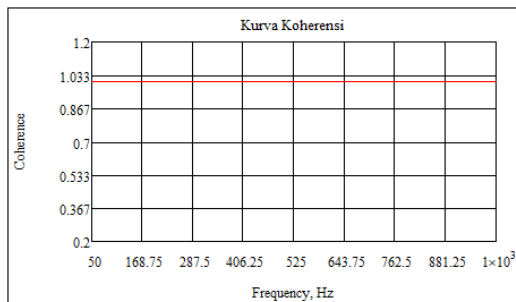
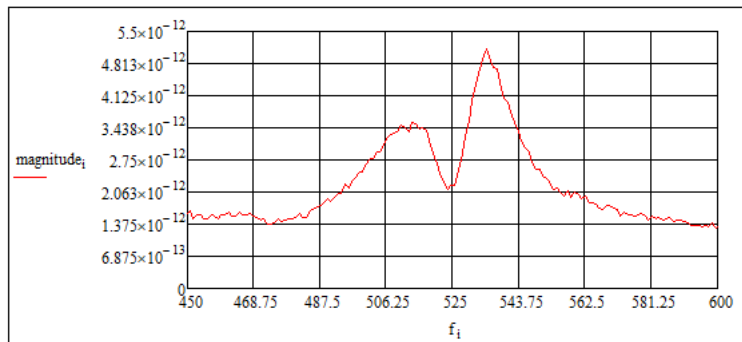
Sandwich 30% Posisi Accelerator 2 Hammer Kiri



Sandwich 30% Posisi Accelerator 3 Hammer Mid

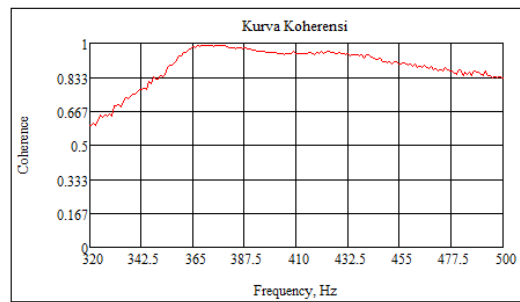
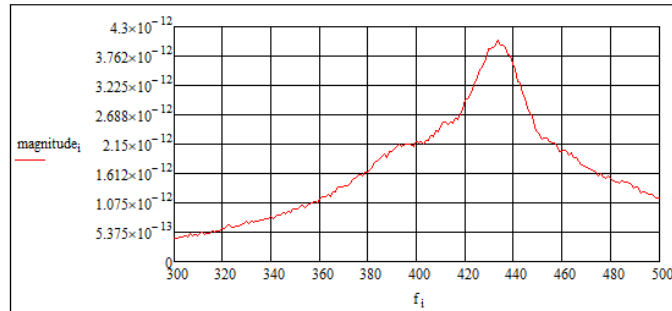


Sandwich 30% Posisi Accelerator 3 Hammer Side

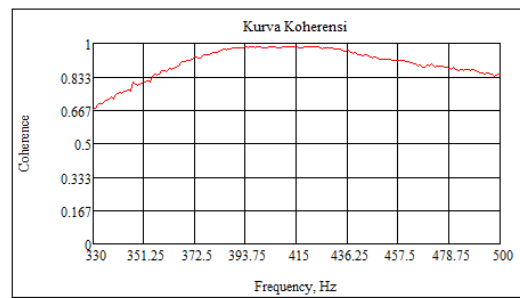
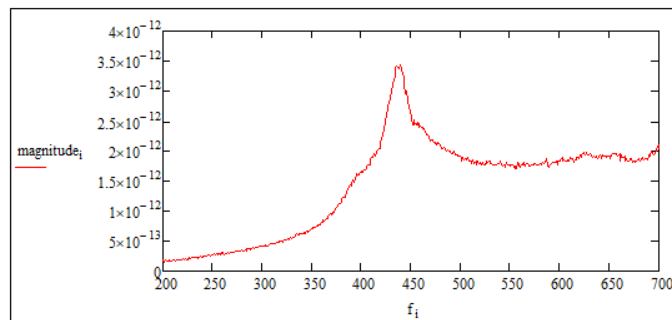


NORMAL

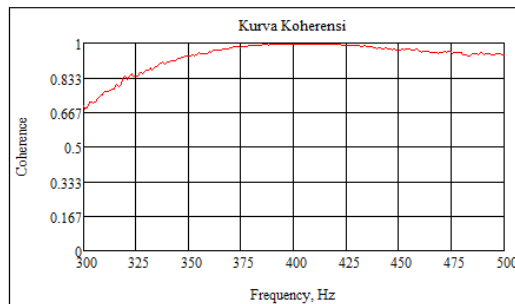
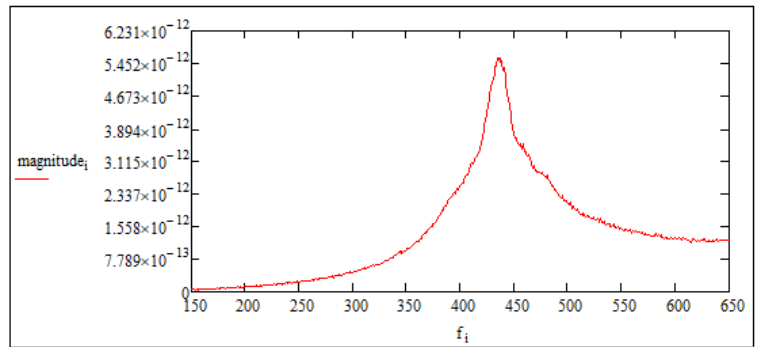
Sandwich 20% Posisi Accelerator 1 Hammer Mid



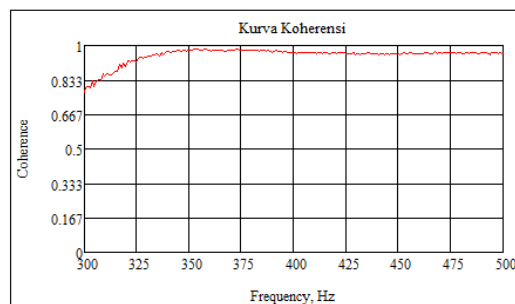
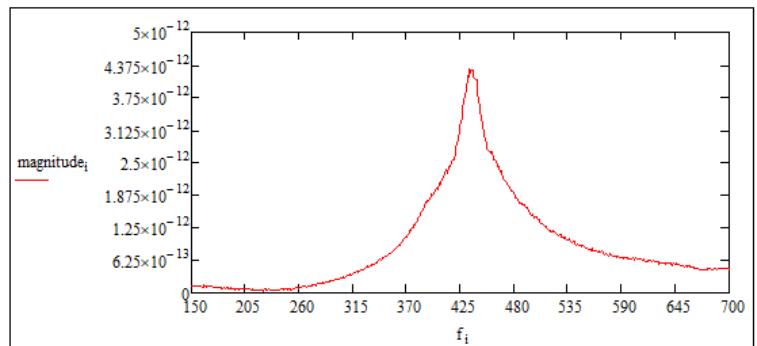
Sandwich 20% Posisi Accelerator 1 Hammer Side



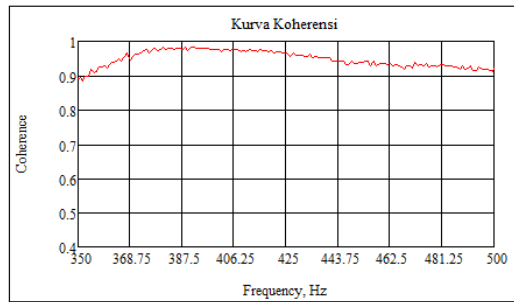
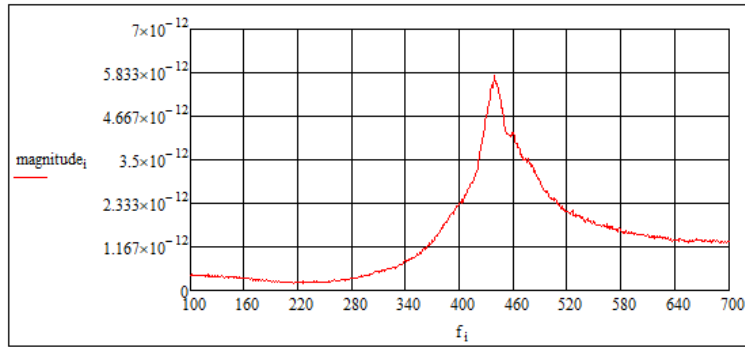
Sandwich 20% Posisi Accelerator 2 Hammer Kanan



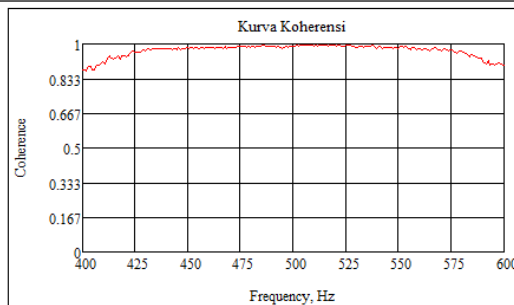
Sandwich 20% Posisi Accelerator 2 Hammer Kiri



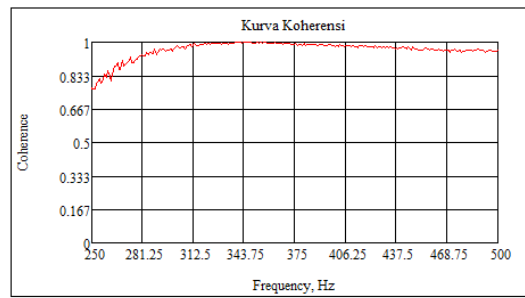
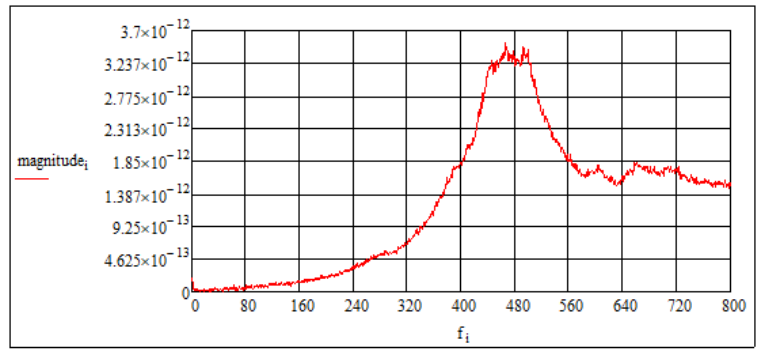
Sandwich 20% Posisi Accelerator 3 Hammer Mid



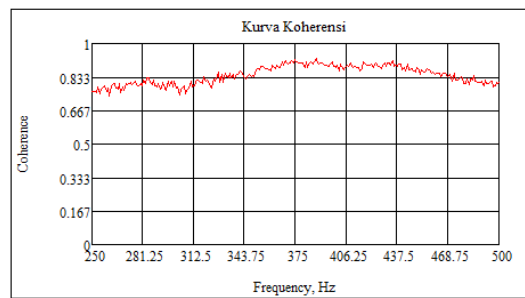
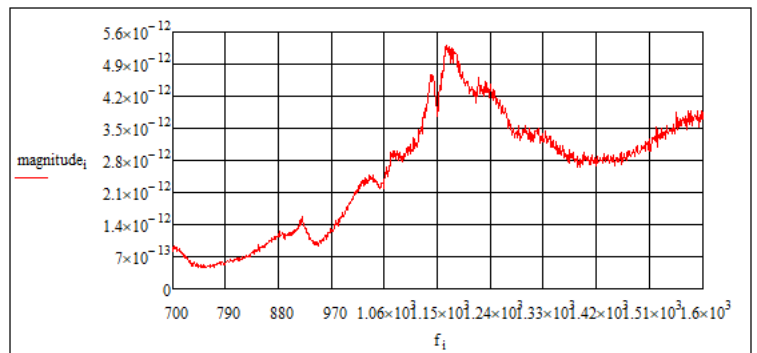
Sandwich 20% Posisi Accelerator 3 Hammer Side



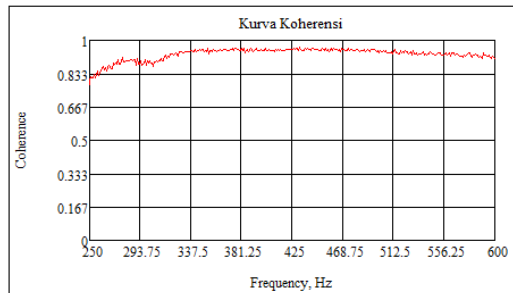
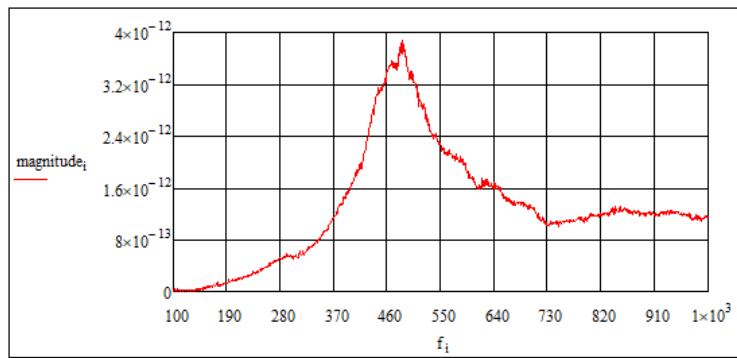
Sandwich 30% Posisi Accelerator 1 Hammer Mid



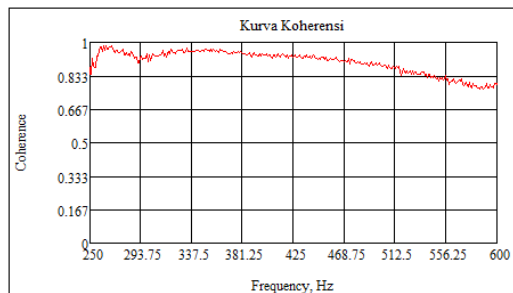
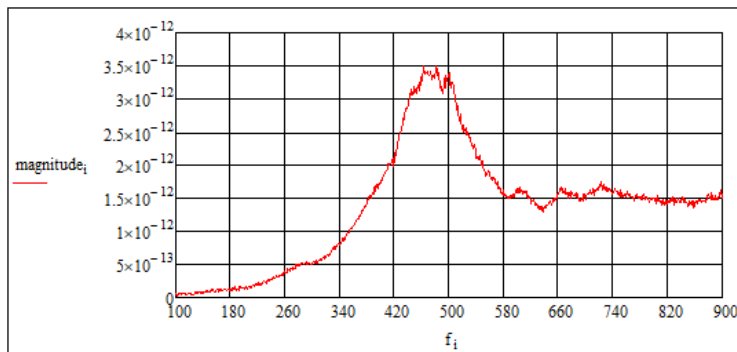
Sandwich 30% Posisi Accelerator 1 Hammer Side



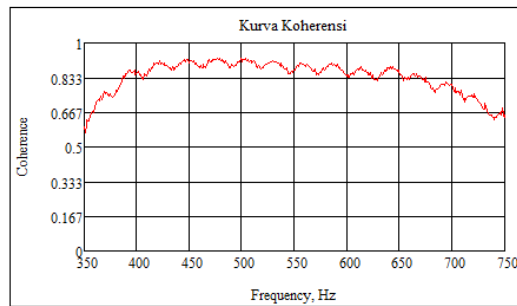
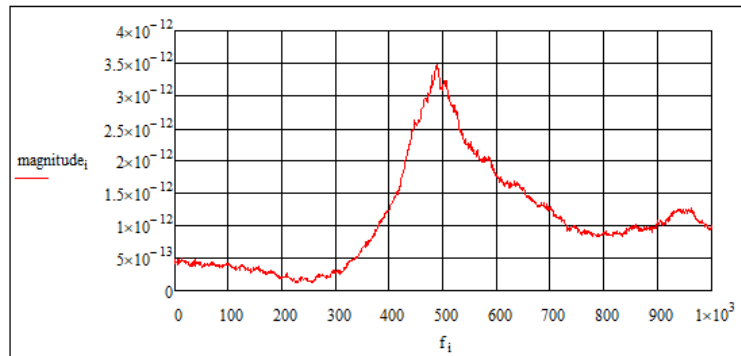
Sandwich 30% Posisi Accelerator 2 Hammer Kanan



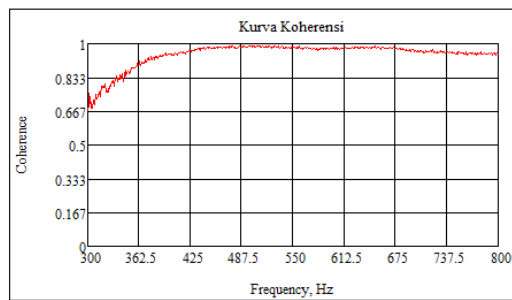
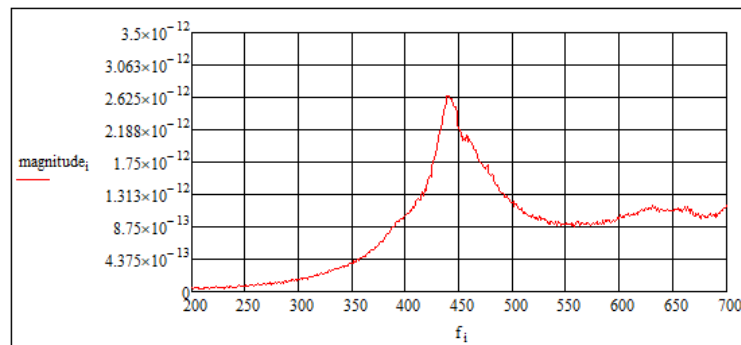
Sandwich 30% Posisi Accelerator 2 Hammer Kiri



Sandwich 30% Posisi Accelerator 3 Hammer Mid



Sandwich 30% Posisi Accelerator 3 Hammer Side



LAMPIRAN X

HASIL UJI BENDING SANDWICH + EGGSHELL 20% KE 1 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

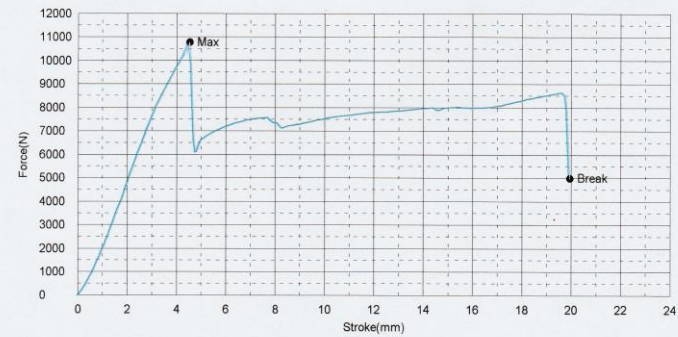
Units	Thickness	Width	Lower Support
1 - 1	26,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	N	mm	N/mm2
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	10775,0	4,53050	51,6435

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	2,69303	4990,63	19,9380	23,9196	11,8516



Comment

HASIL UJI BENDING SANDWICH + EGGSHELL 20% KE 2 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

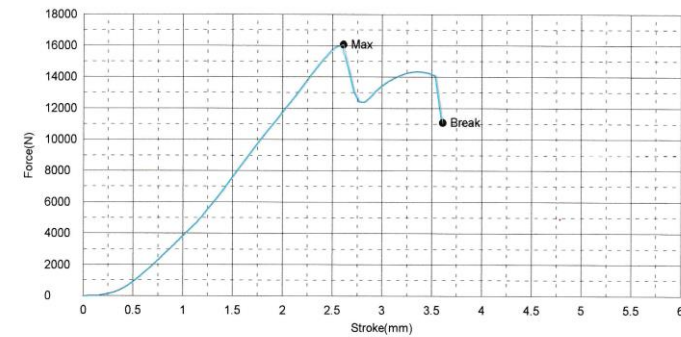
Units	Thickness	Width	Lower Support
1 - 1	26,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	N	mm	N/mm2
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	16081,2	2,61100	77,0758

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,55203	11081,3	3,61000	53,1113	2,14586



Comment

HASIL UJI BENDING SANDWICH + EGGSHELL 20% KE 3 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

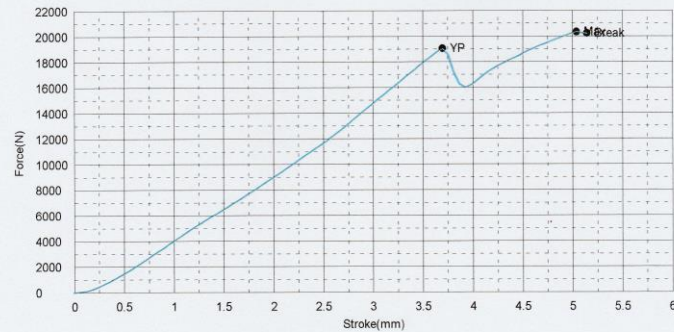
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	26,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1%/FS	0,1%/FS	0,1%/FS	0,1%/FS	0,2%
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	19056,3	3,69600	91,3347	2,19698	--

Name	YS1_Disp	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Disp
Parameter	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Disp	Max_Stress
Parameter	0,2%	0,2%			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	20340,6	5,03800	97,4906

Name	Max Strain	Break_Force	Break_Disp	Break_Stress	Break Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	2,99470	20225,0	5,14400	96,9364	3,05770



Comment

HASIL UJI BENDING SANDWICH + EGGSHELL 20% KE 4 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

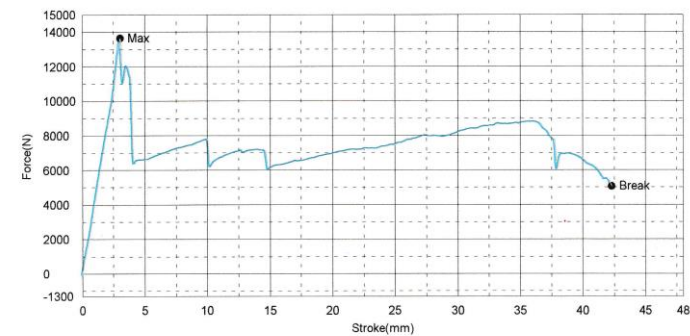
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	26,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1%/FS	0,1%/FS	0,1%/FS	0,1%/FS	0,2%
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Disp	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Disp
Parameter	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Disp	Max_Stress
Parameter	0,2%	0,2%			
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	13656,3	3,02650	65,4530

Name	Max Strain	Break_Force	Break_Disp	Break_Stress	Break Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,79902	5075,00	42,3005	24,3240	25,1443



Comment

HASIL UJI BENDING SANDWICH + EGGSHELL 20% KE 5 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

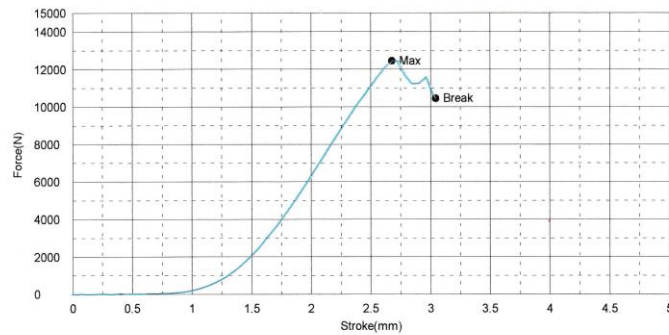
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	26,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Disp	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Disp
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Disp	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	N	mm	N/mm2
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	12443,8	2,67700	59,6416

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Disp	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,59127	10443,8	3,04200	50,0558	1,80823



Comment

HASIL UJI BENDING SANDWICH + EGGSHELL 30% KE 1 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

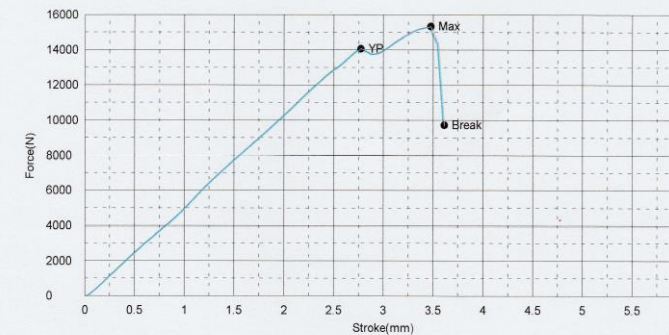
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	26,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	14071,9	2,77500	67,4451	1,64952	--

Name	YS1_Disp	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Disp
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Disp	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	N	mm	N/mm2
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	15334,4	3,47700	73,4961

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Disp	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	2,06680	9725,00	3,61200	46,6109	2,14705



Comment

HASIL UJI BENDING SANDWICH + EGGSHELL 30% KE 2 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

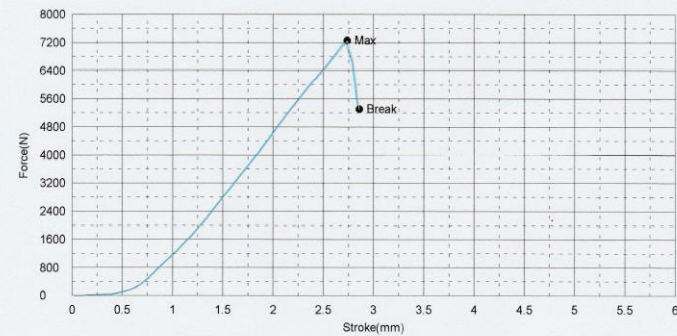
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	26,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	N	mm	N/mm2
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	7253,13	2,73750	34,7635

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,62723	5309,38	2,85800	25,4473	1,69886



Comment

HASIL UJI BENDING SANDWICH + EGGSHELL 30% KE 3 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

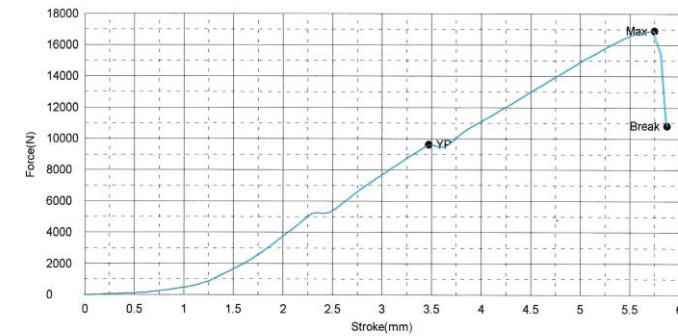
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	26,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	9621,88	3,47100	46,1167	2,06324	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	N	mm	N/mm2
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	16900,0	5,74650	81,0000

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	3,41584	10825,0	5,87500	51,8831	3,49223



Comment

HASIL UJI BENDING SANDWICH + EGGSHELL 30% KE 4 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

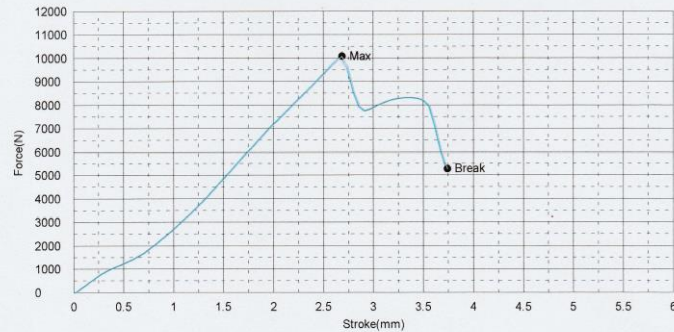
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	26,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	N	mm	N/mm2
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	10087,5	2,68650	48,3484

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	1,59691	5278,13	3,74250	25,2975	2,22462



Comment

HASIL UJI BENDING SANDWICH + EGGSHELL 30% KE 5 ITS AZ TEAM

Date : 2018/04/10 : ID

Shape: Plate

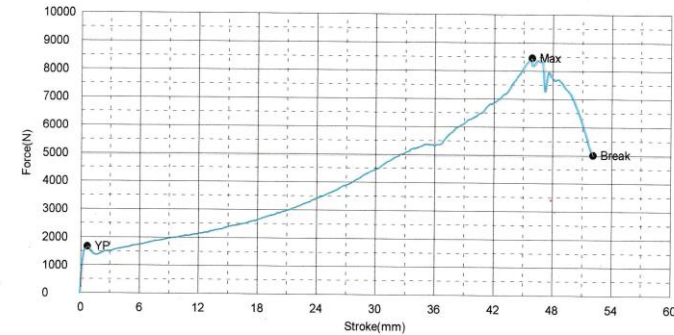
	Thickness	Width	Lower Support
Units	mm	mm	mm
1 - 1	26,0000	75,0000	162,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	YS1_Force
Parameter	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,1 %/FS	0,2 %
Units	N	mm	N/mm2	%	N
1 - 1	1662,50	,68450	7,96820	,40688	--

Name	YS1_Displacement	YS1_Stress	YS1_Strain	YS2_Force	YS2_Displacement
Parameter	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %
Units	mm	N/mm2	%	N	mm
1 - 1	--	--	--	--	--

Name	YS2_Stress	YS2_Strain	Max_Force	Max_Displacement	Max_Stress
Parameter	0,2 %	0,2 %	N	mm	N/mm2
Units	N/mm2	%	N	mm	N/mm2
1 - 1	--	--	8462,50	45,8395	40,5599

Name	Max_Strain	Break_Force	Break_Displacement	Break_Stress	Break_Strain
Units	%	N	mm	N/mm2	%
1 - 1	27,2480	5009,38	52,0880	24,0094	30,9622



Comment

LAMPIRAN XI

**HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG
TELUR 10% KE-1
ITS AZ TEAM**

Date : 10/04/2018

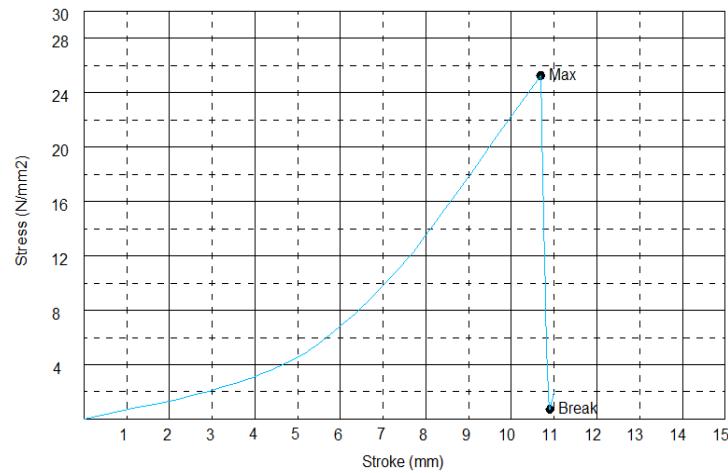
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	14,07	19,31	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	6862,117

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	10,680	25,257	0,214	226,410	10,748

Name	Break_Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	0,833	0,215



Comment

**HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG
TELUR 10% KE-2
ITS AZ TEAM**

Date : 10/04/2018

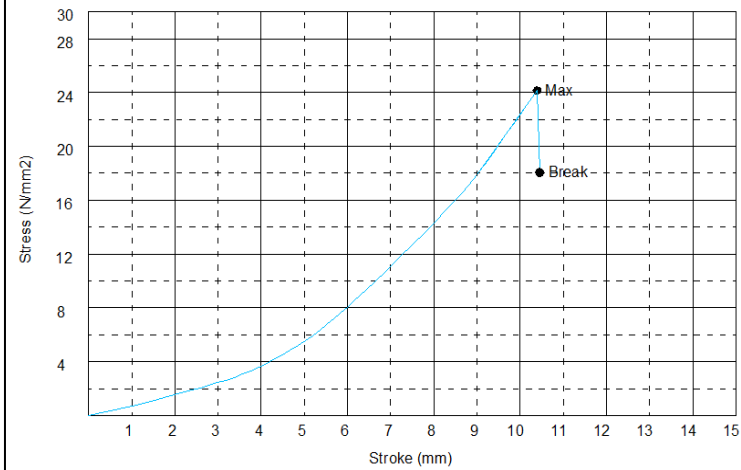
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	13,61	19,38	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	6369,584

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	10,390	24,149	0,208	4763,538	10,453

Name	Break_Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	18,060	0,209



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 10% KE-3 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

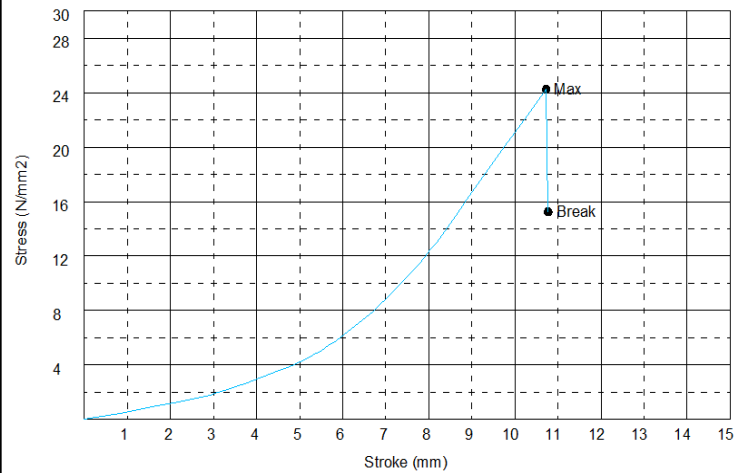
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	13,92	19,03	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	6416,879

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	10,720	24,224	0,214	4041,454	10,772

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	15,257	10,772



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 10% KE-4 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

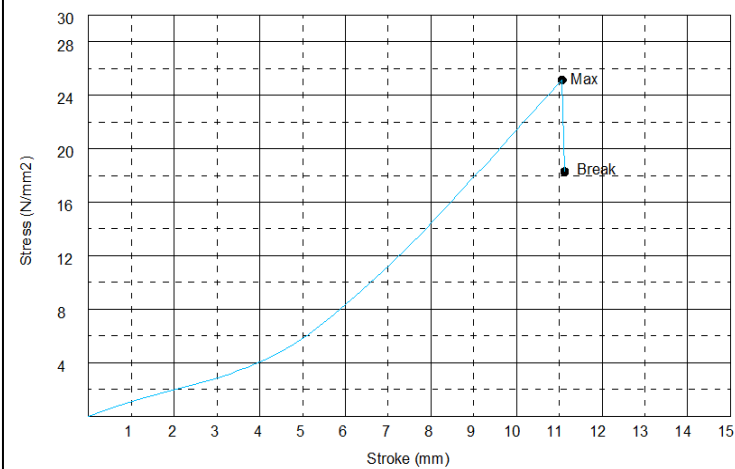
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	14,12	19,82	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	7030,883

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	11,070	25,123	0,221	5116,744	11,123

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	18,283	0,222



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 10% KE-5 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

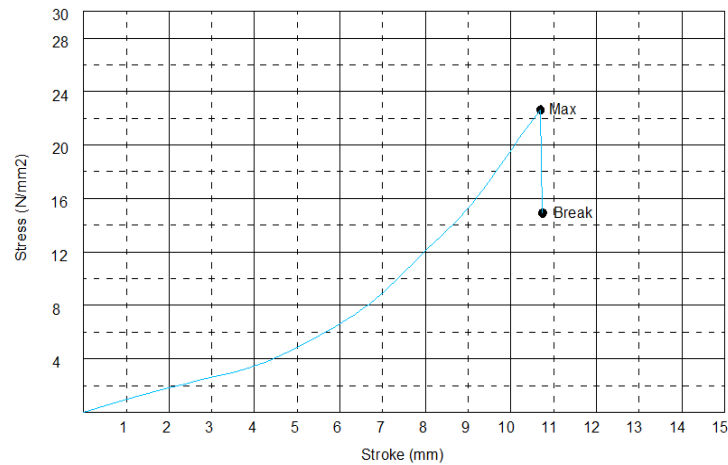
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	13,69	18,86	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	5844,724

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	10,700	22,637	0,214	3848,803	10,744

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	14,907	0,215



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 20% KE-1 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

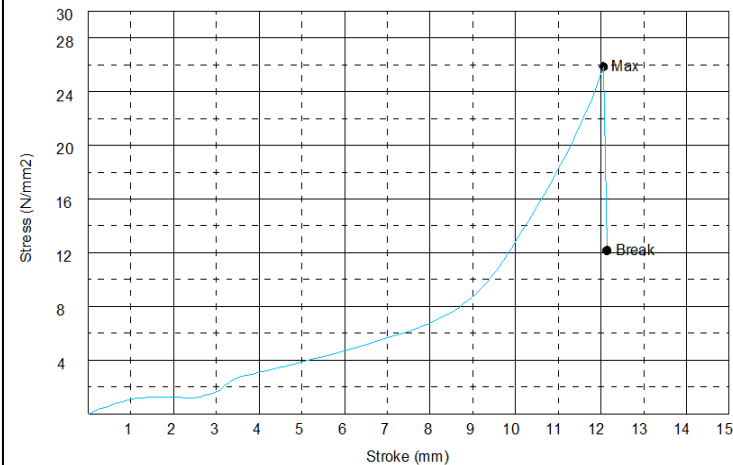
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	14,17	20,11	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	7370,172

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	12,055	25,864	0,241	3466,998	12,137

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	12,167	0,243



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 20% KE-2 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

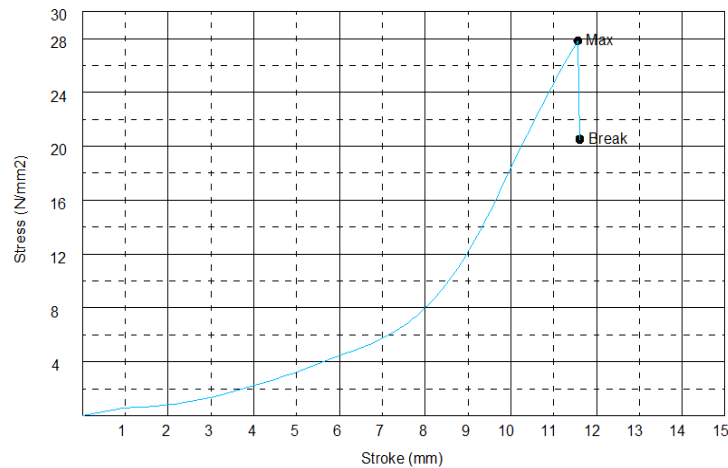
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	13,82	19,89	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	7650,455

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	11,560	27,832	0,231	5641,450	11,611

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	20,523	11,611



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 20% KE-3 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

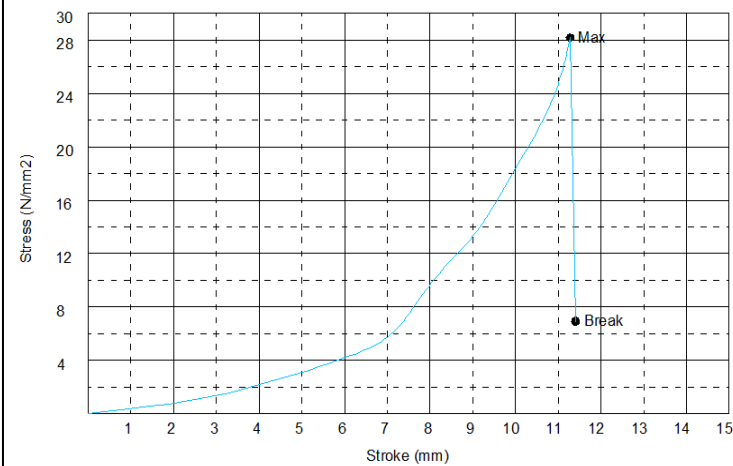
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	13,78	19,67	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	7635,823

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	11,275	28,171	0,226	1879,298	11,402

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	6,933	0,228



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 20% KE-4 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

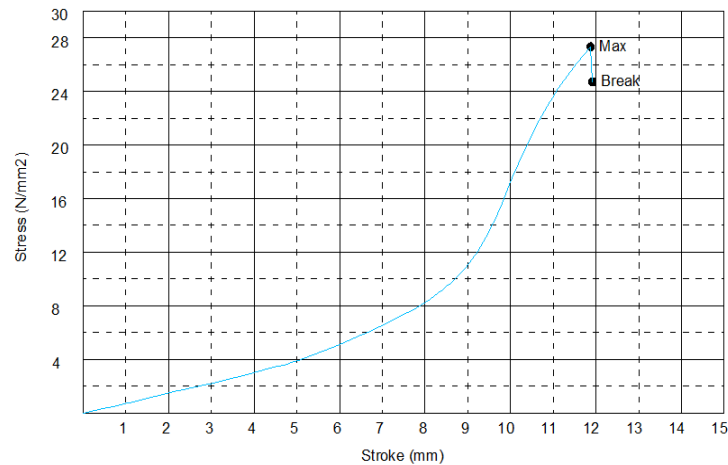
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	13,89	20,31	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	7712,493

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	11,875	27,339	0,238	6970,837	11,916

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	24,710	0,238



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 20% KE-5 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

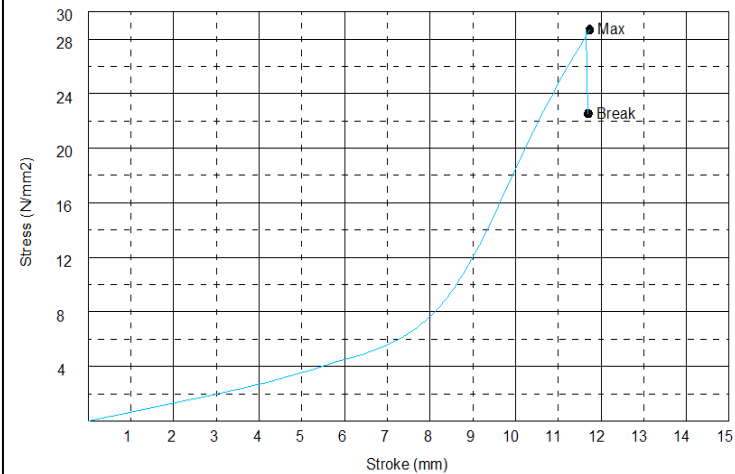
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	14,21	19,91	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	8115,309

Name	Max_Displacement	Max_Stress	YP_Strain	Max Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	11,735	28,684	0,235	8115,309	11,702

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	22,533	0,234



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 30% KE-1 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

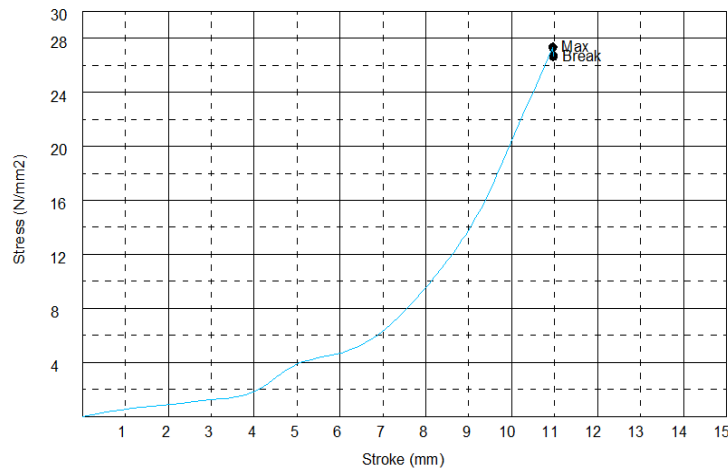
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	14,13	19,15	50,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	7400,352

Name	Max_Disp	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Disp
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1-1	10,960	27,349	0,219	7214,818	10,971

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm2	%
1-1	26,663	0,219



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 30% KE-2 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

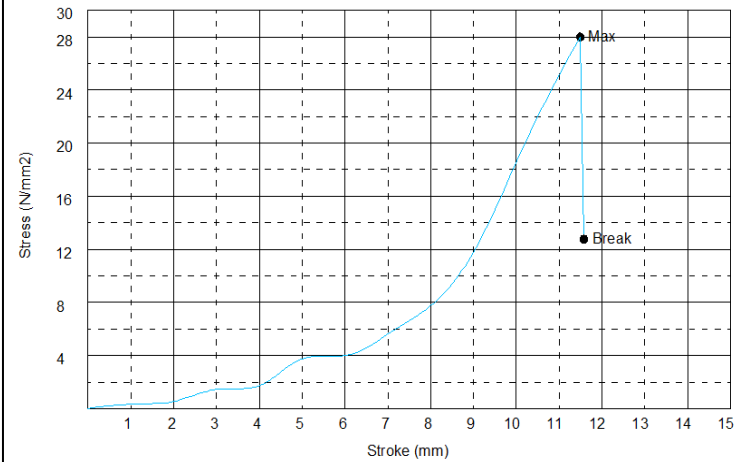
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	13,70	19,27	50,0000

Name	YP_Force	YP_Disp	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	7388,804

Name	Max_Disp	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Disp
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1-1	11,485	27,988	0,230	3371,267	11,573

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm2	%
1-1	12,770	0,231



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 30% KE-3 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

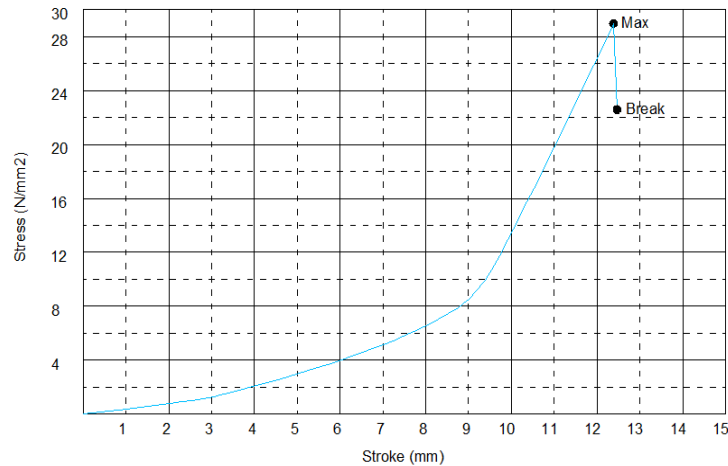
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	13,98	19,84	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	8035,767

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1-1	12,380	28,972	0,248	6267,484	12,466

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm2	%
1-1	22,597	0,249



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 30% KE-4 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

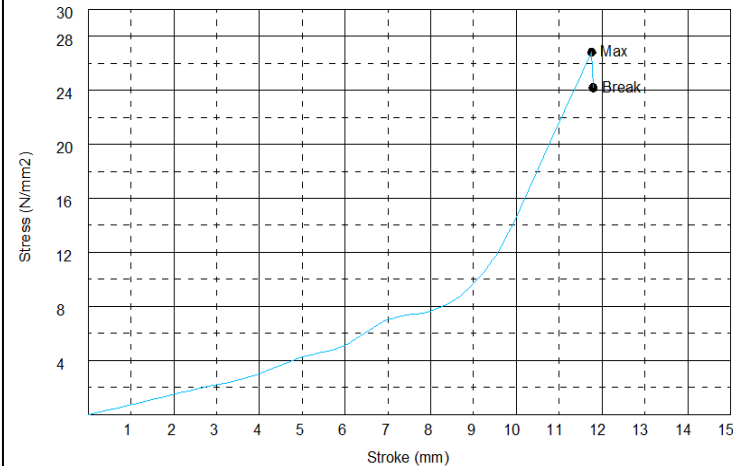
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	14,60	19,70	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	7712,530

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1-1	11,760	26,815	0,235	6960,404	11,789

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm2	%
1-1	24,200	0,236



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 30% KE-5 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

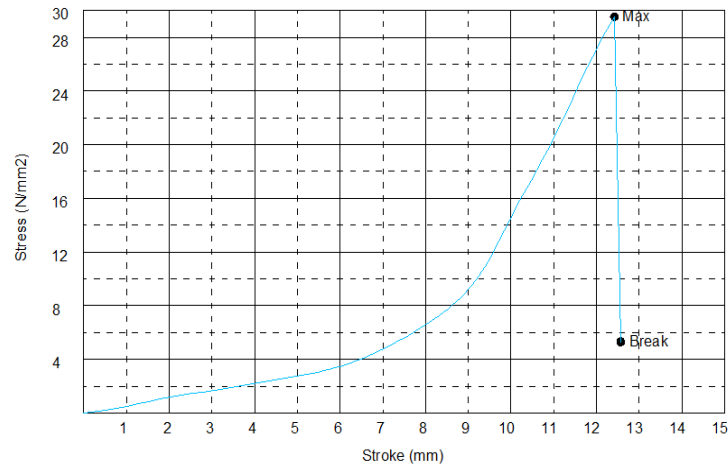
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	14,03	19,60	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	8122,046

Name	Max_Displacement	Max_Stress	YP_Strain	Max Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1-1	12,415	29,536	0,248	8122,046	12,565

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm2	%
1-1	29,533	0,251



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 35% KE-1 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

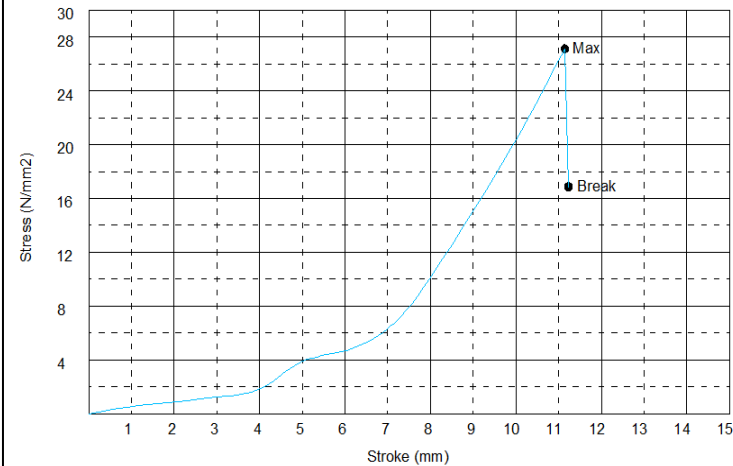
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	14,23	19,68	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm2	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	7597,939

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm2	%	kN	mm
1-1	11,140	27,131	0,223	4723,449	11,228

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm2	%
1-1	16,867	0,225



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 35% KE-2 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

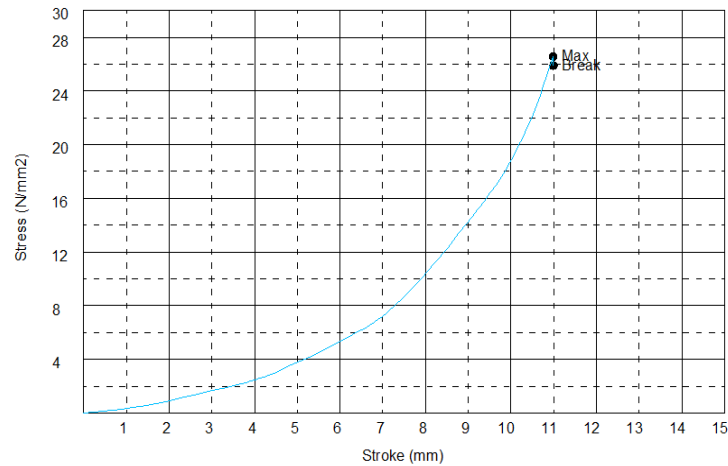
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	13,86	19,91	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	7334,268

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	10,990	26,578	0,220	7145,333	10,995

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	25,893	0,220



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 35% KE-3 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

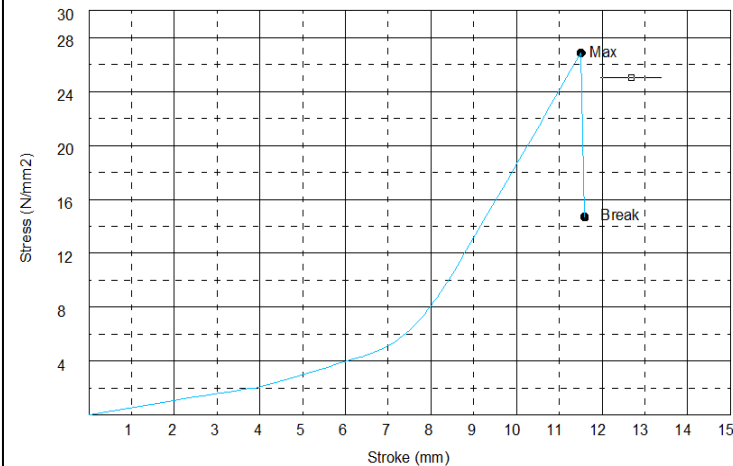
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	14,01	19,35	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	7282,927

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	11,510	26,865	0,230	3984,171	11,590

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	14,697	0,232



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 35% KE-4 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

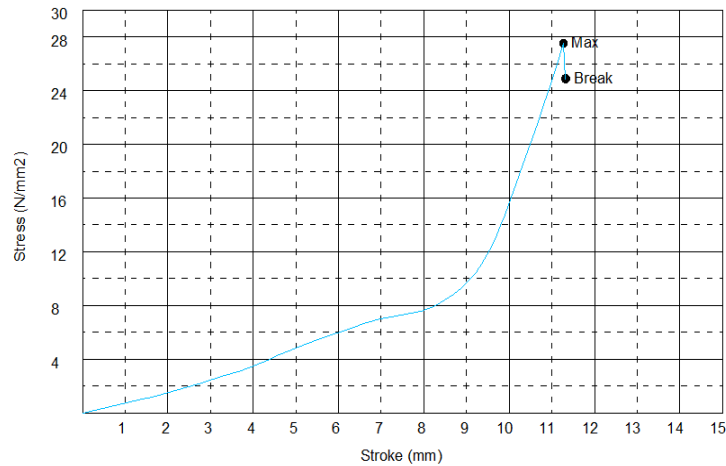
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	13,98	20,02	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	7703,126

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	11,270	27,523	0,225	6966,203	11,322

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	24,890	0,226



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 35% KE-5 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

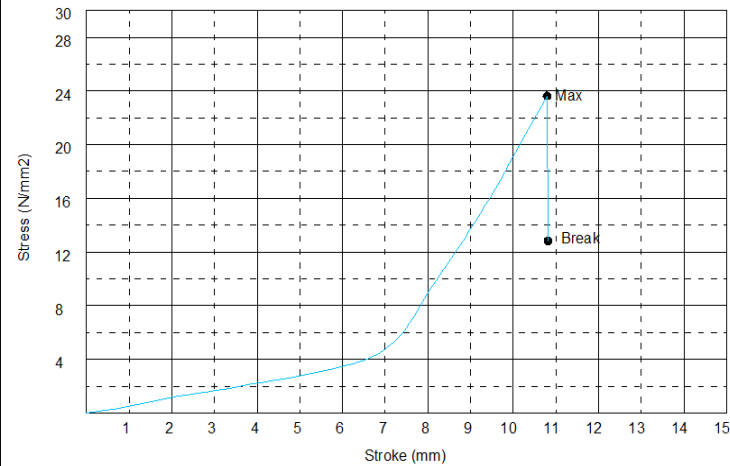
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	14,11	19,34	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	6453,241

Name	Max_Displacement	Max_Stress	YP_Strain	Max Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	10,790	23,648	0,216	6453,241	10,815

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	12,827	0,216



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 40% KE-1 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

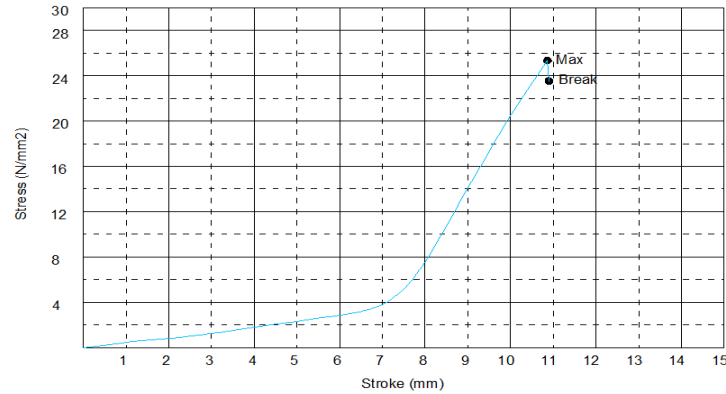
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	14,80	19,09	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	7160,208

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	10,865	25,343	0,217	6650,803	10,896

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	23,540	0,218



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 40% KE-2 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

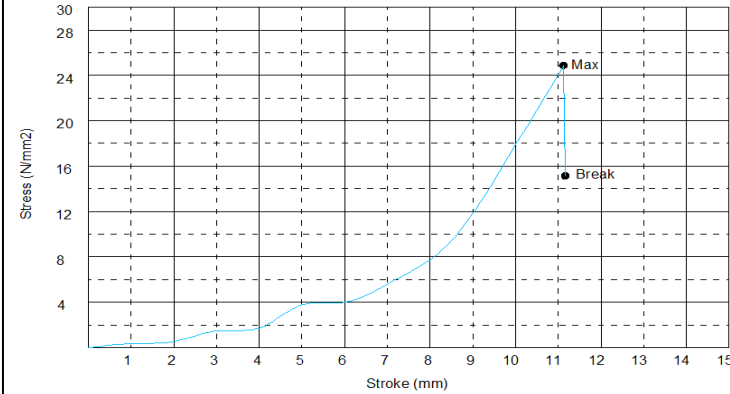
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	14,00	19,09	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	6579,544

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	11,115	24,866	0,222	4006,926	11,159

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	15,143	0,223



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 40% KE-3 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

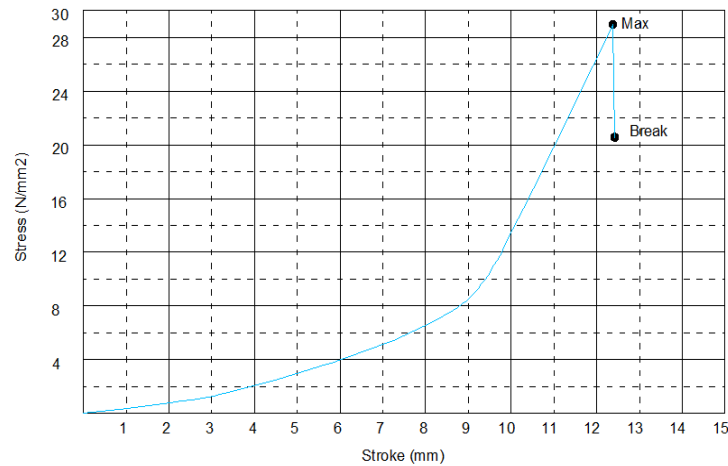
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	14,63	18,81	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	6850,037

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	11,225	24,892	0,225	5660,664	12,420

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	20,570	0,248



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 40% KE-4 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

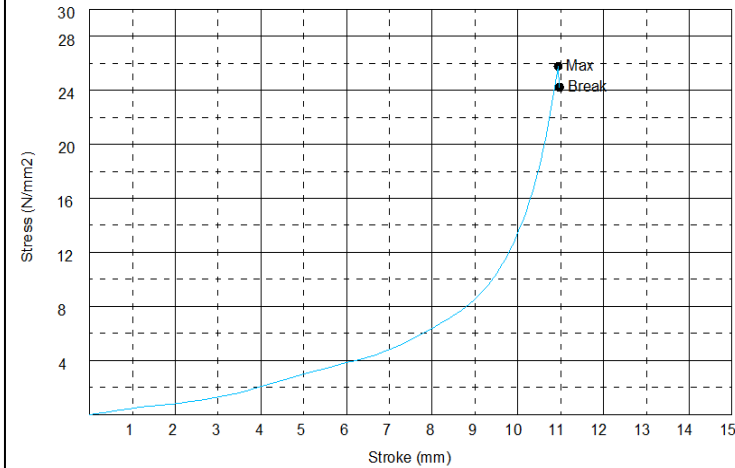
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	14,36	18,6	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	6881,728

Name	Max_Displacement	Max_Stress	Max Strain	Break Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	10,935	25,765	0,219	6469,955	10,972

Name	Break Stress	Break Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	24,223	0,219



Comment

HASIL UJI TARIK SANDWICH + CANGKANG TELUR 40% KE-5 ITS AZ TEAM

Date : 10/04/2018

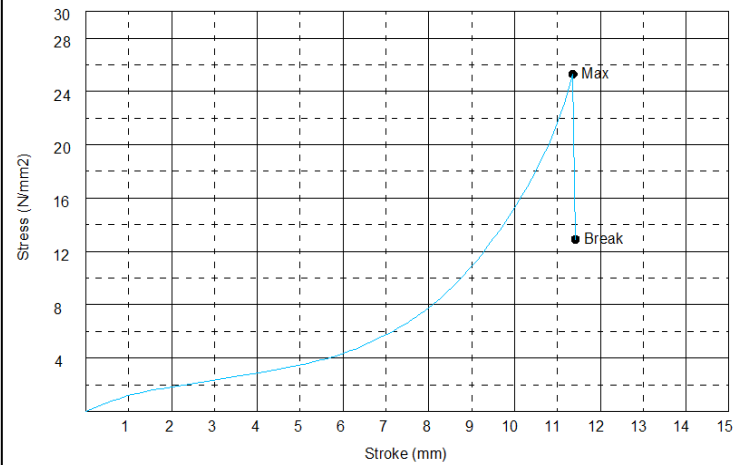
Shape: Plate

	Thickness	width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
1-1	14,47	18,65	50,0000

Name	YP_Force	YP_Displacement	YP_Stress	YP_Strain	Max Force
Parameter	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	0,1% FS	
Units	kN	mm	N/mm ²	%	kN
1-1	-,-	-,-	-,-	-,-	6830,026

Name	Max_Displacement	Max_Stress	YP_Strain	Max Force	Break_Displacement
Units	mm	N/mm ²	%	kN	mm
1-1	11,360	25,309	0,227	6830,026	11,418

Name	Break_Stress	Break_Strain
Units	N/mm ²	%
1-1	12,907	0,228



Comment

DINAS PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TNI AL
LABORATORIUM INDUK KIMIA DAN MATERIAL

SURAT KETERANGAN
Nomor : Sket/ 13 /VII/2018

Yang bertanda tangan dibawah ini :

N a m a : Pompy Pratisna. ST.,MT
Pangkat/NRP : Mayor Laut (T) NRP 17816/P
Jabatan : Kataud Labinkimat

Menerangkan dengan sebenarnya bahwa

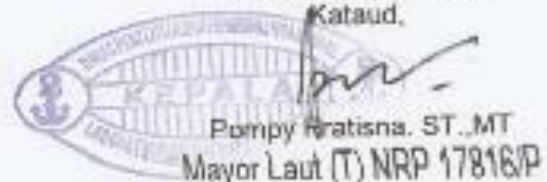
N a m a : Id Adha Mula
NRP : 04111850030004
Institusi Pendidikan : Institut Teknologi Sepuluh November
Pekerjaan : Mahasiswa
Judul Tesis : ANALISIS STATIS DAN DINAMIS SANDWICH PANEL BERBAHAN CORE MATERIAL LIMBAH CANGKANG TELUR PADA KONSTRUKSI PELAT DATAR KAPAL

Menerangkan bahwa benar adanya mahasiswa tersebut diatas telah melaksanakan pengujian untuk pengabian data tesis penelitian di Labinkimat Dislitoang TNI AL.

Demikian surat keterangan ini dibuat dengan sbenarnya dan digunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 3/ Juli 2018

Yang menerangkan
a.n. Kepala Labinkimat
Kataud,


Pompy Pratisna. ST.,MT
Mayor Laut (T) NRP 17816/P

BIODATA PENULIS



Id Adha Mula, S.T., Lahir di Surabaya tanggal 20 April 1988 merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Drs. Wuhisan, M.M., dan Herlin Puspita Ningtyas. Riwayat pendidikan formal penulis dimulai dari TK Tunas Harapan (1993-1994), SDN Pacarkembang V Surabaya (1994-2000), SLTPN I Surabaya (2000-2003), SMAN 5 Surabaya (2003-2006) dan menyelesaikan pendidikan di Institut Teknologi sepuluh Nopember (2006-2011) jurusan Teknik

Perkapalan. Pada tahun 2013 penulis diterima sebagai pegawai di PT. Pelni (Persero) salah satu perusahaan BUMN dalam bidang pelayaran dan ditempatkan pada Divisi Operasional Kantor Pusat Jakarta pada tahun 2013-2014. Pada Tahun 2014 – 2016 penulis ditugaskan pada divisi fuel managemen hingga Pada Juli 2016 penulis terpilih sebagai salah satu penerima program beasiswa jenjang S2 dalam negeri dan memilih Jurusan Magister Teknik Perkapalan, Departemen Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya untuk memperdalam ilmu yang sesuai dengan pendidikan jenjang S1. Harapan penulis dapat memberikan manfaat bagi orang tua, keluarga dan lingkungan masyarakat sekitar dengan semua ilmu yang sudah penulis dapatkan.